



Projeto de Edifício de Serviços com Balanço de Energia Nulo

Rafael António Monge Palma

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Marta João Nunes Oliveira Panão
Fernando Marques da Silva

– PÁGINA EM BRANCO –

Ars sine scientia nihil est.

Jean Mignot

Agradecimentos

O presente trabalho que se expõe só foi possível pela audácia da Alent'Sol s.e.a. em desafiar-me na conceção da sua nova sede conjuntamente com os Arquitetos Isabel Aires e José Cid e com o Engenheiro Carlos Aires da PGI, Lda., aos quais agradeço esta partilha e construção de conhecimento mútua.

Agradeço à Professora Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão por ter aceite o desafio de colaborar e contribuir para o enriquecimento do trabalho desenvolvido. Não poderia deixar de agradecer ao Professor Doutor Fernando Marques da Silva pela disponibilidade em receber-me no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., onde parte fulcral do trabalho desenvolvido decorreu com a sua estrita colaboração.

Por último, deixo um especial agradecimento a todos os funcionários quer da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa quer da Unidade de Alimentação dos Serviços de Ação Social da Universidade de Lisboa.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Botelho', with a stylized flourish at the end.

Lisboa, 13 de junho de 2019

Resumo

O reforço à legislação realizado pela Diretiva 2010/31/UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, surge num cenário onde os edifícios são “participantes” ativos no consumo de energia, introduzindo no quadro legal o conceito de *nearly Zero Energy Buildings* (nZEB) com a premissa de que os novos edifícios após 2020 sejam classificados como tal.

No âmbito da introdução da nova classificação dos edifícios mencionada anteriormente, demonstrou-se que com a introdução do conceito de construção bioclimática aliado a uma escolha cuidada dos materiais e estratégias de construção, e sistemas técnicos de climatização, é possível conceber quer um nZEB quer um *Net Zero Energy Building* (NZEB) por iniciativa privada na presente atualidade. Verificou-se que a integração renovável permite que o edifício opere com menores custos em regime de produção isolado (*Off-grid*), onde se consegue atingir um balanço nulo ou parcialmente nulo, face aos cenários de operação do edifício em que a RESP é parte integrante, indicando que o atual Regime de Produção Distribuída é penalizador para os produtores que a utilizem.

A avaliação do desempenho energético do edifício foi realizada por simulação dinâmica com recurso ao *EnergyPlus*®, onde o sistema de ventilação natural foi modelado com recurso aos perfis de coeficientes de pressão das aberturas exteriores obtidos em ensaio de túnel de vento com e sem urbanizações vizinhas. No entanto, resultados relativos à avaliação do desempenho do sistema de ventilação natural evidenciam que o *Airflow Network* do *EnergyPlus*® apresenta fragilidades em simular modelos multizonas mais complexos, não permitindo aferir qual o impacto das urbanizações na qualidade da ventilação natural.

A presente tese sugere a adoção do conceito de Edifícios de Alto Desempenho Energético (EADE), em detrimento da definição de nZEB presente na legislação atualmente, em conjunto com a introdução de um novo sistema de classificação de desempenho energético para os edifícios, que permite uma visão real da dependência energética dos edifícios impossibilitando que edifícios que apresentem uma produção renovável nula sejam classificados como nZEB.

Palavras-Chave: Aerodinâmica de Edifícios. Desempenho Energético. NZEB. Produção Renovável. Simulação Dinâmica.

Abstract

The strengthening of the legislation implemented by Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings arises in a scenario where the buildings are active “participants” in energy consumption, introducing into the legal framework the concept of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) on the premise that new buildings after 2020 are classified as such.

As part of the introduction of the new classification of the buildings mentioned above, it has been demonstrated that by introducing the concept of bioclimatic construction combined with a careful choice of materials and building strategies, and climatization systems, it is, currently, both economically feasible and achievable from a private investor’s perspective, to conceive either an nZEB or a Net Zero Energy Building (NZEB).

Renewable integration has been found to allow the building to operate with lower costs in isolated production, which is designated as being off-grid, where the energy balance is reached at zero or nearly zero, against the operational scenarios of the building in which the electrical grid is an integral part, indicating that the current Distributed Production Regime penalises producers using it.

The evaluation of the energy performance of the building was performed by dynamic simulation using EnergyPlus®, where the natural ventilation system has been modelled using the pressure coefficient profiles of the external openings obtained in the wind tunnel test, with and without neighbouring urbanisations. However, results from the assessment of the performance of the natural ventilation system show that the EnergyPlus® Airflow Network has weaknesses in the simulation of complex multi-zone models, by not making it possible to assess the impact of urbanisation on the quality of natural ventilation.

The present thesis suggests the adoption of the concept of High Energy Performance Buildings (HEPB), which replaces the present legislated nZEB definition, associated with the introduction of a new energy performance classification system for buildings, which allows a real view of energy dependency of buildings, by impairing building with no renewable production to be classified as nZEB.

Keywords: Buildings Aerodynamics. Dynamic Simulation. Energy Performance of Buildings. NZEB. Renewable Production.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas.....	xi
Siglas e Acrónimos.....	xiii
Simbologia e Notações.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento Geral.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. Estado da Arte.....	4
2.1. Conceito de <i>Zero Energy Building</i>	4
2.2. <i>Zero Energy Buildings</i> no Mundo.....	7
3. Caso de Estudo.....	8
3.1. Localização.....	8
3.2. Projeto de Arquitetura.....	9
3.3. Projetos Complementares.....	11
3.3.1. Projeto de Iluminação.....	11
3.3.2. Projeto de Ventilação Mecânica.....	12
4. Avaliação Aerodinâmica.....	13
4.1. Ventilação Natural.....	13
4.2. Ensaio em Túnel de Vento.....	14
4.3. Caracterização dos Vãos Envidraçados e Opacos.....	18
4.3.1. Coeficientes de Pressão das Aberturas Exteriores.....	18
4.3.2. Coeficientes de Descarga e Infiltração.....	21
5. Simulação Dinâmica.....	24
5.1. Definição dos Ganhos Internos.....	24
5.2. Modelo de Simulação do Edifício.....	28
5.2.1. Zonas Térmicas.....	28
5.2.2. Ventilação Natural.....	31
5.2.3. Sistemas AVAC.....	33
5.3. Desempenho do Sistema de Ventilação Natural.....	34
5.4. Desempenho Energético do Edifício.....	36
6. Integração de Produção Renovável.....	38

6.1. Dimensionamento e Avaliação Económica do Sistema de Produção Renovável	39
6.1.1. Metodologia de Dimensionamento.....	39
6.1.2. Metodologia de Avaliação Económica.....	41
6.2. Produção Renovável e Indicadores Económicos.....	43
6.2.1. Produção Renovável.....	43
6.2.2. Indicadores Económicos.....	45
7. Avaliação do Desempenho Global do Edifício	47
7.1. Metodologia Sartori, REHVA e RECS	47
7.2. Metodologia Adotada	49
7.2.1. Fatores de Conversão e Consumo de Energia Primária	49
7.2.2. Fração Renovável	51
7.3. Indicadores de Desempenho Energético	53
8. Conclusões.....	56
9. Referências	58
Anexo A · Projetos de Especialidade	63
A.1. Projeto de Arquitetura	63
A.2. Propriedades Termofísicas e Óticas dos Materiais de Construção	85
A.3. Projeto de Iluminação.....	91
A.4. Projeto de Ventilação Mecânica.....	108
Anexo B · Avaliação Aerodinâmica.....	130
B.1. Caracterização do Vento Local.....	130
B.1.1. Determinação da Direção do Vento Horário.....	131
B.1.2. Determinação do Perfil Horário Médio da Velocidade do Vento.....	135
B.2. Ensaio no Túnel de Vento	141
B.2.1. Referencial e pontos de medição do modelo do edifício	141
B.2.2. Resultados dos Ensaio no Túnel de Vento	144
Anexo C · Dados e Metodologias Complementares.....	179
C.1. Fontes de Consumo.....	179
C.2. Temperatura Média Mensal do Solo.....	181
C.3. Resultados da Simulação Dinâmica.....	182
C.4. Integração de Produção Renovável.....	187
C.4.1. Equipamentos e Custos	187
C.4.2. Resultados da Integração de Produção Renovável	195

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Consumo de energia final (esquerda) e consumo de energia elétrica (direita) por setor de atividade económica entre 1990 e 2016 na União Europeia (UE-28) e em Portugal [1].	1
Figura 2.1 – Mapa de projetos de edifícios NZEB no mundo [10].	7
Figura 3.1 – Normais Climatológicas para a localidade do edifício ESNE. Imagem de satélite adaptada do Google Earth Pro.	8
Figura 3.2 - Variação da trajetória do Sol local entre os solstícios de dezembro e de junho (esquerda) e entre os solstícios de junho e dezembro (direita) [15]. A vermelho encontra-se assinalado a hora local.	9
Figura 3.3 – Corte A (esquerda) e Alçado Lateral Este (direita) do Edifício ESNE, extraído do Estudo Preliminar realizado pelos arquitetos Isabel Aires e José Cid.	9
Figura 3.4 – Edifício ESNE visto de sudoeste (A), noroeste (B), sudeste (C) e vista aérea da zona circundante (D).	10
Figura 3.5 – Localização do vão central e detalhe de como este se desenvolve ao longo do seu pé-direito.	11
Figura 4.1 – Maquete do edifício ESNE para o túnel de vento em que (A) mostra as peças que a constituem e (B), (C), (D) e (E), apresentam o resultado da impressão 3D para diferentes perspetivas (sudoeste, oeste, nordeste e sul superior, respetivamente).	15
Figura 4.2 – Zona de Atividades Económicas de Vila Nova de S. Bento em vista 3D superior (esquerda) e maquete da área circundante ao edifício ESNE reproduzida à escala 1:200 (direita).	16
Figura 4.3 – (A) Tomadas de pressão conectadas por manga flexível. (B) Transdutor de pressão PSI® com scanners de 64 canais ESP HD. (C) Sistema de aquisição dados e painel de controlo do túnel de vento. (D) Maquete no ensaio com urbanizações no túnel de vento.	16
Figura 4.4 – Distribuição dos coeficientes de pressão para os alçados este e oeste para um vento com direção sul.	17
Figura 4.5 – Distribuição dos coeficientes de pressão para os alçados sul e norte para um vento com direção sul.	17
Figura 5.1 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para a loja, o armazém, o laboratório de química e microbiologia e a sala de refeições.	26
Figura 5.2 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para os gabinetes, o laboratório de máquinas elétrica e a sala de reuniões.	27
Figura 5.3 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para o auditório e as zonas de circulação e escadas de emergência.	28
Figura 5.4 – Identificação em planta das zonas térmicas consideradas no modelo do <i>EnergyPlus</i> ® (imagem sem escala).	29
Figura 5.5 – Vista exterior do modelo geométrico do edifício ESNE introduzido no <i>EnergyPlus</i> ® com recurso ao <i>Skechup Make</i> ® e à extensão <i>Euclid</i> do <i>Big Ladder Software</i> .	29
Figura 5.6 – Modulação da área de abertura atendendo à diferença da temperatura entre o interior e o exterior [24].	32
Figura 5.7 – Desempenho do Sistema de Ventilação Natural relativamente ao Conforto Térmico, para meio urbano, no período de ocupação.	35
Figura 5.8 – Desempenho do Sistema de Ventilação Natural relativamente à Qualidade do Ar, para meio urbano, no período de ocupação.	35
Figura 5.9 – Desagregação do Consumo de Energia Elétrica por fonte em termos absolutos por área de pavimento útil (cima) e em termos percentuais (baixo) para os quatro cenários em estudo, em meio urbano.	37
Figura 6.1 – Esquema simplificado do tipo de unidades de produção para autoconsumo, previstas pelo Decreto-Lei n.º 153/2014 e tipificadas pela CTE 64 para a tecnologia solar fotovoltaica [33].	38
Figura 6.2 – Implementação do sistema solar fotovoltaico no modelo 3D realista e no modelo 3D <i>EnergyPlus</i> ®.	39
Figura 6.3 – Desagregação da energia consumida e produzida no edifício ESNE por fonte para cada cenário de consumo e para cada cenário de operação.	44
Figura 6.4 – Desagregação do custo anual de operação médio atualizado por setor para cada cenário de consumo e para cada cenário de operação.	46

Figura 7.1 – Etiqueta de Classe Energética e de Classe de Desempenho Global dos edifícios a constar no certificado energético.....	52
Figura 7.2 – Exemplo etiquetas de Classe Energética e de Classe de Desempenho Global a constar em anúncios de promoção de venda imobiliária para três tipos de edifícios.	52
Figura 7.3 – Produção renovável local em função do consumo de energia primária para os cenários de consumo e de operação atendendo à metodologia do RECS atual (esquerda) e à metodologia adotada (direita).....	55
Figura A.1 – Projeto de Arquitetura: Lotes 31 e 32.	65
Figura A.2 – Projeto de Arquitetura: Implantação.	66
Figura A.3 – Projeto de Arquitetura: Planta Piso 0.	67
Figura A.4 – Projeto de Arquitetura: Piso 1.	68
Figura A.5 – Projeto de Arquitetura: Piso 2.	69
Figura A.6 – Projeto de Arquitetura: Cobertura.	70
Figura A.7 – Projeto de Arquitetura: Corte A.	71
Figura A.8 – Projeto de Arquitetura: Corte B.	72
Figura A.9 – Projeto de Arquitetura: Corte C.	73
Figura A.10 – Projeto de Arquitetura: Alçado Este.	74
Figura A.11 – Projeto de Arquitetura: Alçado Norte.	75
Figura A.12 – Projeto de Arquitetura: Alçado Oeste.	76
Figura A.13 – Projeto de Arquitetura: Alçado Sul.	77
Figura A.14 – Projeto de Arquitetura: Detalhe de Construção das Paredes Exteriores.....	78
Figura A.15 – Projeto de Arquitetura: Detalhe de Construção das Paredes Interiores.....	79
Figura A.16 – Projeto de Arquitetura: Detalhe de Construção de Pavimentos e Tetos.	80
Figura A.17 – Projeto de Arquitetura: Detalhe de Construção da Cobertura.	81
Figura A.18 – Projeto de Arquitetura: Tipologia de construção das paredes no Piso 0.	82
Figura A.19 – Projeto de Arquitetura: Tipologia de construção das paredes no Piso 1.	83
Figura A.20 – Projeto de Arquitetura: Tipologia de construção das paredes no Piso 2.	84
Figura A.21 – Projeto de Iluminação: Performance do Sistema de Iluminação.	93
Figura A.22 – Projeto de Iluminação: Características das Luminárias.	94
Figura A.23 – Projeto de Iluminação: Luminárias no Piso 0.	95
Figura A.24 – Projeto de Iluminação: Luminárias no Piso 1.	96
Figura A.25 – Projeto de Iluminação: Luminárias no Piso 2.	97
Figura A.26 – Projeto de Iluminação: Luminárias Corte A.	98
Figura A.27 – Projeto de Iluminação: Luminárias Corte B.....	99
Figura A.28 – Projeto de Iluminação: Luminárias Corte C.....	100
Figura A.29 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso do Piso 0.	101
Figura A.30 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso do Piso 1.	102
Figura A.31 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso do Piso 2.	103
Figura A.32 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso das Instalações Sanitárias.	104
Figura A.33 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso das Escadas Norte.	105
Figura A.34 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso das Escadas de Emergência Este 1.....	106
Figura A.35 – Projeto de Iluminação: Linhas Isográficas de Iluminância no Plano de Uso das Escadas de Emergência Este 2.....	107
Figura A.36 – Projeto de Ventilação Mecânica: Caudais de Ventilação.....	110
Figura A.37 – Projeto de Ventilação Mecânica: Planta Piso 0.....	111
Figura A.38 – Projeto de Ventilação Mecânica: Planta Piso 1.....	112
Figura A.39 – Projeto de Ventilação Mecânica: Planta Piso 2.....	113
Figura A.40 – Projeto de Ventilação Mecânica: Cobertura.	114
Figura A.41 – Projeto de Ventilação Mecânica: Corte A.....	115
Figura B.1 – Localização (A) da Estação Meteorológica da Herdade do Vale Formoso (B). Imagem de satélite adaptada do <i>Google Earth Pro</i>	130

Figura B.2 - Distribuição de ocorrência da direção do vento local para o período de 1998-2017 e o ano de referência.....	132
Figura B.3 – Distribuição de ocorrência da direção do vento local de janeiro a junho no período de 1998-2017 e no ano de referência.	133
Figura B.4 – Distribuição de ocorrência da direção do vento local de julho a dezembro no período de 1998-2017 e no ano de referência.	134
Figura B.5 – Representação esquemática da transição de rugosidades (esquerda) e identificação das rugosidades locais características (direita). Imagem de satélite adaptada do <i>Google Earth Pro</i>	135
Figura B.6 – Esquema para a determinação da extensão das rugosidades e dos coeficientes de orografia.	136
Figura B.7 – Nomenclatura para a determinação do coeficiente de orografia em colinas (adaptado de [22]). ...	137
Figura B.8 – Distribuição da direção e velocidade do vento para os meses de janeiro a junho no ano de referência.	138
Figura B.9 – Distribuição da direção e velocidade do vento para os meses de janeiro a junho no ano de referência.	139
Figura B.10 – Perfil anual de velocidades do vento para o ano de referência.	140
Figura B.11 – Perfil diário típico de velocidades do vento para o ano de referência.	140
Figura B.12 – Alçado Este: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas E1-E17).	141
Figura B.13 – Alçado Oeste: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas W1-W14).	141
Figura B.14 – Alçado Sul: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas S1-S16).	141
Figura B.15 – Alçado Norte: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas N1-N12).	142
Figura B.16 – Terraço Técnico: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas T1-T11).	142
Figura B.17 – Vão Envidraçado Central: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas V1-V3).	142
Figura B.18 – Cobertura: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas C1-C16).	143
Figura B.19 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	151
Figura B.20 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	152
Figura B.21 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	153
Figura B.22 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	154
Figura B.23 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	155
Figura B.24 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	156
Figura B.25 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	157
Figura B.26 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	158
Figura B.27 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	159
Figura B.28 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	160
Figura B.29 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	161
Figura B.30 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	162
Figura B.31 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	163
Figura B.32 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	164
Figura B.33 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	165

Figura B.34 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	166
Figura B.35 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	167
Figura B.36 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	168
Figura B.37 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	169
Figura B.38 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	170
Figura B.39 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	171
Figura B.40 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	172
Figura B.41 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	173
Figura B.42 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	174
Figura B.43 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).	175
Figura B.44 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).	176
Figura B.45 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).	177
Figura B.46 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).	178
Figura C.1 – Temperatura média diária do ar exterior e a sua regressão sinusoidal, e a temperatura do solo estimada a 2m para o local do caso de estudo.	181
Figura C.2 – Ficha das Características Técnicas do Módulo Solar Fotovoltaico JAM60S01-320/PR.	187
Figura C.3 – Ficha das Características Técnicas do Inversor de Rede Fronius Primo 5.0-1.	188
Figura C.4 – Ficha das Características Técnicas do Inversor Híbrido InfiniSolar Plus 5kW.	189
Figura C.5 – Planta de Instalação dos Painéis Solares Fotovoltaicos na Cobertura para o Cenário de Operação Rede+Produção <i>On-grid</i> .	192
Figura C.6 – Planta de Instalação dos Painéis Solares Fotovoltaicos na Cobertura para o Cenário de Operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> .	193
Figura C.7 – Planta de Instalação dos Painéis Solares Fotovoltaicos na Cobertura para o Cenário de Operação Produção <i>Off-grid</i> .	194
Figura C.8 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência.	195
Figura C.9 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência.	195
Figura C.10 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência.	196
Figura C.11 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência.	196
Figura C.12 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência.	197
Figura C.13 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência.	197
Figura C.14 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência.	198
Figura C.15 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência.	198

Figura C.16 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência	199
Figura C.17 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 10 de janeiro do ano de referência.....	199
Figura C.18 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Rede+Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência	200
Figura C.19 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Produção <i>Off-grid</i> , no dia 17 de maio do ano de referência.....	200

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Ensaio não Urbanizado: coeficientes de pressão médios em cada abertura para as oito direções do vento.....	19
Tabela 4.2 – Ensaio Urbanizado: coeficientes de pressão médios em cada abertura para as oito direções do vento.	20
Tabela 4.3 – Características aerodinâmicas dos vãos envidraçados.....	22
Tabela 4.4 – Características aerodinâmicas dos vãos opacos.....	23
Tabela 5.1 – Correspondência entre as divisões/espacos e as zonas térmicas criadas no modelo geométrico do EnergyPlus ®.	30
Tabela 6.1 – Design do Sistema de Produção Renovável obtido através do <i>HOMER Pro</i> ® para cada cenário de consumo e cada cenário de operação do edifício.	41
Tabela 6.2 – Indicadores de desempenho económico do edifício ESNE para os cenários de consumo e operação estudados.....	45
Tabela 7.1 – Fatores de Conversão em Energia Primária ($f_{pu,i}$) e Fração de Energia Renovável incorporada no consumo final de energia elétrica ($f_{ren,f}^r$) e no consumo de energia primária para produção de energia elétrica ($f_{ren,p}^r$).....	50
Tabela 7.2 – Classificação proposta para o desempenho global do edifício definido em termos da fração renovável local.....	52
Tabela 7.3 – Indicadores de desempenho energético determinados de acordo com a metodologia atual do RECS.	53
Tabela 7.4 – Indicadores de desempenho energético determinados de acordo com a metodologia adotada.	54
Tabela 7.5 – Fração Renovável Local e Global, Classe Energética e Classe de Desempenho Global do edifício ESNE para todos os cenários de consumo e operação.	55
Tabela A.1 – Propriedades termofísicas dos materiais, sistemas construtivos e elementos da construção do edifício ESNE, adaptado de [40], [41], [42], [43], [44], [45] e [46].....	86
Tabela A.2 – Propriedades Óticas dos Elementos Vítreos, adaptado de [46] e [47].	90
Tabela A.3 – Propriedades Óticas e Termofísicas dos Estores de Lona [48].....	90
Tabela B.1 - Caracterização do vetor de Direção Horária do Vento para cada ano compreendido no período 1998-2017.	131
Tabela B.2 – Extensão de x_0 e x_l para cada classe de vento, e o seu respetivo intervalo de validade para a direção do vento.....	136
Tabela B.3 – Definição dos parâmetros de cálculo e dos valores do coeficiente de orografia considerados para cada classe de vento atendendo ao seu intervalo de validade.....	137
Tabela B.4 – Ensaio não Urbanizado: coeficientes de pressão obtidos em cada ponto de medição para as oito direções de vento.....	144
Tabela B.5 – Ensaio Urbanizado: coeficientes de pressão obtidos em cada ponto de medição para as oito direções de vento.....	147
Tabela C.1 – Inventário de equipamentos presentes no edifício.	179
Tabela C.2 – Temperatura média mensal do solo para o local de estudo.....	182
Tabela C.3 – Capacidade de climatização do sistema auxiliar presente em cada divisão (unidades VRV) e da UTAN.	182

Tabela C.4 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário AVAC.	183
Tabela C.5 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário Híbrido i.	184
Tabela C.6 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário Híbrido ii.	185
Tabela C.7 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário de Referência.	186
Tabela C.8 – Tarifário médio de aquisição de energia elétrica no mercado liberalizado para uma potência contratada de 27,6kVA.	190
Tabela C.9 – Tarifa simples mensal de referência para venda de energia aplicada às UPAC nos termos do RPD [53].	190
Tabela C.10 – Custos e vida útil dos componentes do sistema de produção renovável definidos pelo requerente do projeto.	191
Tabela C.11 – Taxas de exploração das Unidades de Produção para Autoconsumo.	191

Siglas e Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CUR	Comercializador de Último Recurso
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EADE	Edifício de Alto Desempenho Energético
EPBD	<i>Energy Performance in Buildings Directive</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, I.P.
ESNE	Edifício de Serviços com Balanço Nulo de Energia
I.P.	Instituto Público
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IPMA	Instituto do Mar e da Atmosfera, I.P.
IRE	Índice de Rentabilidade Efetiva
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.
nZEB	<i>nearly Zero Energy Building</i>
NZEB	<i>Net Zero Energy Building</i>
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PRI	Período de Retorno do Investimento
PV	Fotovoltaico do inglês <i>Photovoltaic</i>
RECS	Regulamento do Desempenho Energético em Edifícios de Comércio e Serviços
REHVA	<i>Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations</i>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RPD	Regime de Produção Distribuída
TIR	Taxa Interna de Retorno
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VAL	Valor Líquido Atual
VRV	Volume de Refrigerante Variável
XPS	Poliestireno Extrudido
ZAE	Zona de Atividades Económicas
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

Simbologia e Notações

α_s	Absortividade solar [—]
a_g	Aceleração gravítica [m/s^2]
z_{ref}	Altitude de referência [m]
β_{ab}	Ângulo de abertura do vão [°]
A	Área da abertura [m^2]
A_p	Área de pavimento útil [m^2]
c_s	Calor Específico [$J/kg \cdot K$]
\dot{V}	Caudal de ventilação [m^3/s]
c_q	Coeficiente de caudal [$m^3/s \cdot Pa^n$]
c_d	Coeficiente de descarga da abertura [—]
c_o	Coeficiente de orografia [—]
COP_{aq} e COP_{arr}	Coeficiente de Performance da bomba de calor em modo aquecimento e em modo arrefecimento, respetivamente, [—]
c_p	Coeficiente de pressão [—]
$c_{p,m}$	Coeficiente de pressão médio [—]
U	Coeficiente de Transferência de Calor [$W/m^2 \cdot K$]
x_i	Comprimento Linear da rugosidade do meio i [m]
λ	Condutividade térmica [$W/m \cdot K$]
$c_{op,a}$	Custo Anual de Operação Médio Atualizado [€/ano]
c_a	Custo Unitário Médio Atualizado [€/kWh]
Δp	Diferença de pressão [Pa]
L	Espessura [m]
δ	Espessura da Camada Limite [m]
n	Expoente adimensional de pressão [—]
g	Fator solar do vão envidraçado [—]
ρ	Massa volúmica [kg/m^3]
p	Pressão [Pa]
η	Rendimento [—]
R	Resistência térmica [$m^2 \cdot K/W$]
z_0	Rugosidade do solo [m]
a	Taxa de Atualização [—]
a_i	Taxa de Inflação [—]
a_{ref}	Taxa de Juro de Referência [—]
u	Velocidade do vento [m/s]

1. Introdução

1.1. Enquadramento Geral

O caminho que vem a ser traçado após a adoção da estratégia Europa 2020 já produziu efeitos visíveis no panorama do setor energético. Em 2010, 9,9% da energia final consumida no seio europeu provinha de fontes renováveis, tendo-se verificado uma tendência crescente da presença das renováveis. Em 2016, estas produziram 13,2% da energia final consumida [1]. No entanto, na União Europeia cerca de 86,8% da energia consumida é importada. O cenário em Portugal é ligeiramente mais animador, tendo-se verificado que, em 2016, 23,7% da energia consumida é de origem renovável, mas apresentando uma dependência aos mercados externos de 76,3% [1]. As metas já alcançadas são positivas, contudo muito aquém do necessário. A crise das dívidas soberanas teve um papel preponderante na desaceleração da descarbonização do setor electroprodutor.

Embora o setor energético esteja a caminhar para uma forma de produção de energia com menos impactes ambientais, existe uma necessidade de olhar com mais atenção para o setor dos edifícios. Atendendo à Figura 1.1 verifica-se que desde de 1990 até à atualidade a participação dos setores residencial e de serviços como consumidores de energia é considerável, apresentando uma tendência crescente. Em 2016, o setor dos edifícios (residencial e serviços) foi responsável por 39,2% da energia final consumida na União Europeia (Figura 1.1, esquerda) e por 59,4% da energia elétrica consumida (Figura 1.1, direita). Em Portugal, 28,3% do consumo de energia é alocado ao setor dos edifícios, menos 10,9 pontos percentuais face à União Europeia. Relativamente ao consumo de energia elétrica os setores residencial e de serviços, em conjunto, apresentam um peso de mais 5,4 pontos percentuais face ao caso europeu.

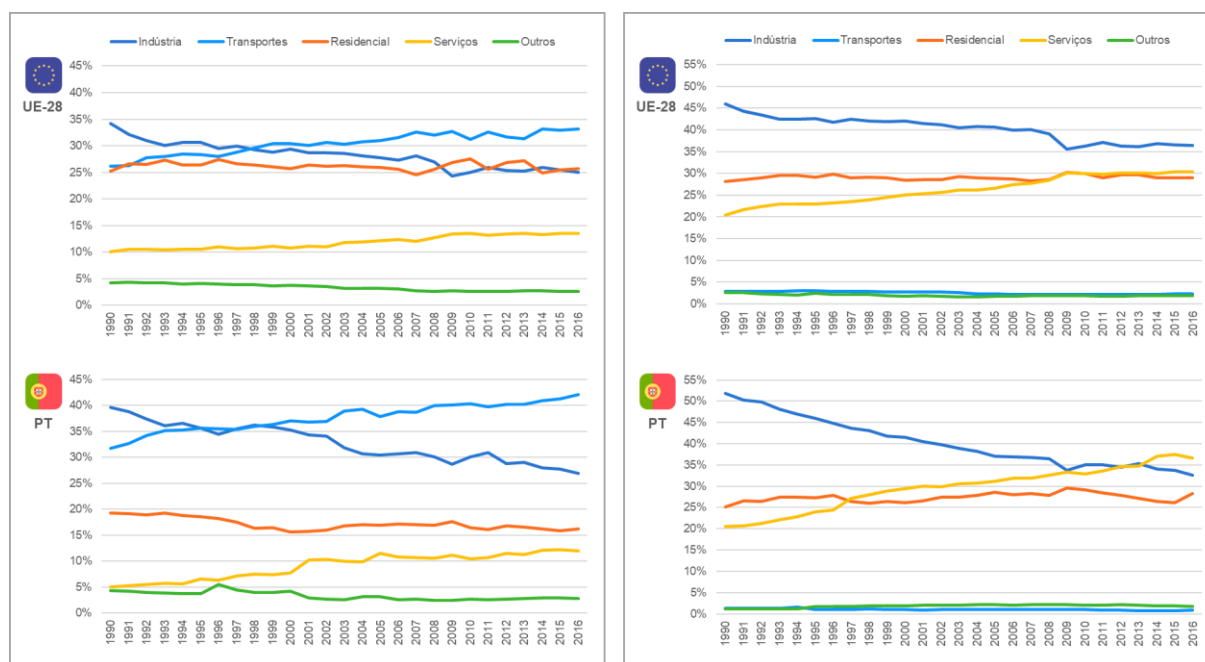


Figura 1.1 – Consumo de energia final (esquerda) e consumo de energia elétrica (direita) por setor de atividade económica entre 1990 e 2016 na União Europeia (UE-28) e em Portugal [1].

É num cenário onde os edifícios são “participantes” ativos no consumo de energia, que surgiu o reforço da legislação relativa ao desempenho energético dos edifícios. Os novos edifícios devem participar na economia utilizando de forma racional e cuidada a energia que lhes é fornecida. O conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia⁽¹⁾ foi introduzido pelos Artigos 2.º e 9.º da Diretiva

⁽¹⁾ A tradução mais adequada de *nearly Zero Energy Building* deveria ser edifício com balanço de energia quase nulo.

2010/31/UE⁽²⁾, que obriga a que os novos edifícios, construídos após 2020, sejam classificados como tal. Em termos nacionais, a regulação do desempenho energético dos edifícios é assegurada pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto alterado pelos Decretos-Leis n.ºs 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de setembro, 251/2015, de 25 de novembro, e 28/2016, de 23 de junho, e pela Lei n.º 52/2018, de 20 de agosto. No âmbito português, os edifícios com necessidades quase nulas de energia são definidos como «os que tenham um muito elevado desempenho energético (...) em que as necessidades de energia quase nulas ou muito reduzidas são em larga medida satisfeitas com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades»⁽³⁾.

1.2. Objetivos

A conceção de novos edifícios necessitará de uma nova interpretação por parte dos projetistas. Para além de um edifício ser uma obra de “arte” que convive com o espaço público, o rumo do seu *design* deverá estar aliado a estratégias que permitam desde o início torná-lo capaz de aproveitar corretamente os ganhos solares, a ação do vento para ventilação natural e os recursos renováveis locais para produção de energia. Com este estudo pretende-se demonstrar que com tecnologias de climatização e de produção de energia renovável, conjuntamente com os materiais de construção já existentes no mercado e amplamente utilizados é possível conceber um edifício NZEB por iniciativa privada. Para além disso, este projeto tem como fim avaliar a viabilidade económica e técnica da construção destes novos edifícios tanto em regime isolado (*off-grid*), como utilizando a rede elétrica ou um outro sistema de apoio para a produção de energia.

Dentro deste contexto, serão avaliadas por simulação dinâmica as estratégias de orientação do edifício, as soluções construtivas⁽⁴⁾ e os sistemas de climatização a adotar, assim como as estratégias de ventilação natural a implementar, de forma a otimizar o desempenho energético do edifício. Por outro lado, será avaliada qual a tecnologia de produção renovável que mais se adequa à procura energética do edifício. O sistema de produção renovável será dimensionado de forma a obter um balanço de energia nulo na base anual, atendendo ao Regime de Produção Distribuída⁽⁵⁾ português.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente tese trata-se de um projeto de um edifício, e de modo a dar cumprimento aos objetivos propostos numa forma clara para o leitor, em cada capítulo serão apresentados as metodologias e os resultados inerentes ao tema em análise. Assim sendo, a estrutura da dissertação é a seguinte:

2. Estado da Arte: neste capítulo é revisto o conceito de *Zero Energy Building* explicando a sua origem, e de que forma pode ser aplicado aos edifícios que pretendam deter esta classificação. Também é analisada a forma como este conceito foi transposto pela União Europeia, através do Parlamento Europeu e do Conselho, e pelos Estados-membros, com especial enfoque o caso de Portugal, para a legislação que regula o desempenho energético de edifícios.

Apresenta-se também a situação atual da aplicação do conceito ZEB ao parque edificado no mundo.

3. Caso de Estudo: neste capítulo apresenta-se o edifício em estudo e o local onde será construído. Aqui será explicado o trabalho desenvolvido conjuntamente com os arquitetos Isabel Aires e José Cid, mais especificamente, as medidas e estratégias adotadas que definiram o *design*/forma do edifício. Para

⁽²⁾ Alterada pela Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 e pelo Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018.

⁽³⁾ n.º 2, do Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual.

⁽⁴⁾ Não descritas em detalhe no Estudo Prévio.

⁽⁵⁾ Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

além da apresentação do projeto de arquitetura é também apresentado o projeto de iluminação interior e o projeto de ventilação mecânica realizado em colaboração com o Engenheiro Carlos Aires da PGI, Lda.

4. Avaliação Aerodinâmica: este capítulo condensa o trabalho desenvolvido no LNEC, I.P., cujo objetivo principal foi traçar os perfis de coeficientes de pressão (c_p) para cada abertura exterior e avaliar a ação do vento sobre o edifício, atendendo à presença ou ausência de urbanizações vizinhas, e caracterizar aerodinamicamente cada abertura presente no edifício. Explana-se também a metodologia que permitiu caracterizar o vento local, com base em medições realizadas na estação meteorológica do IPMA, I.P na Herdade do Vale Formoso, Mértola (ver anexo B.1).

5. Simulação Dinâmica: neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a definição do modelo de simulação do edifício no *EnergyPlus*®, que inclui a caracterização dos perfis carga interna e ocupação, a definição das zonas térmicas e dos módulos de simulação do sistema de ventilação natural e AVAC, a definição dos cenários de consumo e a descrição do tratamento realizado aos resultados obtidos. Encontram-se também neste capítulo os resultados da avaliação do desempenho do sistema de ventilação natural, atendendo à presença ou ausência de urbanizações vizinhas, e da avaliação do desempenho energético do edifício.

6. Integração de Produção Renovável: neste capítulo apresentam-se os cenários de operação do sistema de produção renovável previstos pelo Regime de Produção Distribuída, e o respetivo dimensionamento realizado com recurso ao *HOMER Pro*®. É também apresentada a análise económica dos custos de operação do edifício para todos os cenários de operação e consumo.

7. Avaliação do Desempenho Global do Edifício: encontra-se neste capítulo a apresentação dos indicadores de desempenho energético definidos na legislação nacional e a metodologia que deve ser adotada para o cálculo dos mesmos. É também apresentado um possível indicador paralelo à classe energética do edifício que nos permita perceber qual a sua dependência das redes de fornecimento de energia ou sistemas auxiliares para produção de energia.

8. Conclusões: serão apresentadas as conclusões tecidas durante o desenvolvimento da presente dissertação, dando especial ênfase ao cumprimento dos objetivos e a perspectivas de trabalho futuro.

2. Estado da Arte

2.1. Conceito de *Zero Energy Building*

O conceito de *zero-energy* surgiu no século passado, sendo que a primeira aplicação deste conceito surgiu em 1977 num projeto de uma habitação solar passiva (*zero-energy house*). De acordo com Esbensen *et al.* [2] a *zero-energy house* tratava-se de uma habitação autossuficiente em termos de energia térmica para aquecimento ambiente e de águas sanitárias. A estratégia adotada divide-se na implementação de medidas passivas de redução de perdas térmicas para o exterior, e na produção local via fonte renovável a energia térmica necessária [2].

Desde o surgimento do conceito de *zero-energy buildings* (ZEB's) até à publicação da nova EPBD em 2010, surgiram muitas definições para o que se poderia entender por um ZEB. Na revisão realizada em 2009 por Marzal *et al.* [3] constata-se a diversidade de definições presentes na literatura. Um ZEB, poderá tratar-se de um edifício residencial ou comercial com necessidades energéticas muito reduzidas, tal que estas possam ser cobertas por produção renovável [3]. Nesse âmbito poderemos ter dois tipos de edifícios: NZEB (*Net Zero Energy Buildings*) – são edifícios que, ao longo de um ano ou outro período de tempo mais pequeno, são neutros, o que significa que estes entregam à rede de fornecimento a mesma quantidade de energia consumida [3] [4]. Em que a energia entregue deverá ser produzida com recurso exclusivo a fontes renováveis [4]; e *Stand Alone ZEB* ou *off-grid-ZEB* – tratam-se de edifícios que não requerem conexão à rede ou utilizam-na simplesmente como sistema de apoio. Edifícios isolados conseguem autonomamente fornecer energia para o seu funcionamento, e ainda têm capacidade de armazenar a energia excedente produzida para ser utilizada no período de ausência de produção de energia [4].

Um ZEB, de acordo com Laustsen [4] poderá ser ainda definido em termos do balanço de emissões de CO₂. Este é designado como *Zero Carbon Building* (ZCB), e tem por base a utilização de energia que não implica a emissão de CO₂. Ou seja, em termos anuais os edifícios são neutros em carbono por produzirem energia livre de CO₂ para cobrir as suas necessidades energéticas. Os *Zero Carbon Buildings* diferem dos *Zero Energy Buildings* uma vez que podem utilizar energia produzida por fontes produtoras livres de CO₂, tal como parques eólicos, centrais solares fotovoltaicas e grandes hídricas, que não estão integradas no edifício ou nas suas imediações.

Contudo, para além destes três tipos de definição de ZEB, Marzal *et al.* [3] ainda destaca as quatro definições apresentadas por Torcellini *et al.* [5]: *Net Zero Site Energy* (*site NZEB*) – corresponde à definição já apresentada anteriormente, onde o edifício deverá no mínimo produzir localmente a energia que utiliza ao longo de um ano, de forma a apresentar um balanço nulo entre a energia entregue e a requerida à rede; *Net Zero Source Energy* (*source NZEB*) – a génese da definição é similar à anterior, contudo o balanço de energia entre o edifício e a rede é realizado em termos de energia primária, pelo que é atribuído um peso às diferentes formas de energia com recurso a fatores de conversão de energia final para energia primária; *Net Zero Energy Emissions* (*emissions NZEB*) – trata-se de um edifício que apresenta um balanço nulo de emissões de dióxido de carbono equivalente, entre a energia produzida e consumida da rede, atendendo às emissões associadas a cada fonte de energia; *Net Zero Energy Costs* (*cost NZEB*) – considera o balanço anual financeiro resultante da aquisição e venda de energia à rede, tal que a receita associada à energia entregue à rede deverá ser igual ou superior aos custos de utilização de energia fornecida pela rede.

A revisão realizada por Marzal *et al.* [3] levanta cinco questões pertinentes que envolvem a definição de um ZEB: (i) qual a unidade métrica a adotar para o balanço: energia primária, energia final, emissões de CO_{2eq}, custo da energia, energia exportada, etc.; (ii) que tipo de uso de energia deve ser considerado: uso na operação do edifício ou para além do uso na operação incluir o uso de energia na construção do edifício; (iii) que tipo de requisitos devem ser impostos: quantidade mínima de incorporação de energias

renováveis com produção local ou deslocalizada, qualidade mínima de conforto interior, consumo de energia máximo, etc.; (iv) a existência de requisitos para a interação do edifício com a rede; (v) e de como será possível uma definição generalizada incluir todos os casos.

A definição adotada pela Comissão Europeia, através da publicação da EPBD-*recast* (Diretiva 2010/31/UE), para um *nearly Zero Energy Building* (nZEB) corresponde a «(...) um edifício com um desempenho energético muito elevado (...) [onde] as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades»⁽⁶⁾. A nova diretiva clarifica quase na totalidade as questões levantadas por Marzal *et al.* [3] para os novos edifícios. Embora seja definida a energia primária como unidade métrica⁽⁷⁾, o tipo de uso de energia regulado, o consumo máximo de energia e o requisito mínimo de qualidade do ambiente interior, fica por esclarecer como deve ser contabilizada a produção de energia renovável⁽⁸⁾. Dado à definição ser suficientemente abrangente para que cada um dos Estados Membros possa quantificar o que é um balanço de energia pequeno e a metodologia da sua quantificação, surge o problema de não existir uma definição uniforme e sólida na Europa [6].

De forma a colmatar esta ambiguidade, a REHVA⁽⁹⁾ preparou um documento onde indica qual a metodologia a seguir para a determinação do balanço de energia de cada edifício, propondo inclusive a definição de nZEB e NZEB. Em termos europeus, e de acordo com a REHVA [7], um NZEB trata-se de um edifício que apresenta um consumo de energia primária não-renovável de 0kWh/m²·ano, enquanto um nZEB pode apresentar um consumo de energia primária não-renovável superior a 0kWh/m²·ano desde que não seja superior ao valor limite de incorporação de energia primária não-renovável imposto a nível nacional.

Em Portugal, para os Edifícios de Serviços e Comércio já foi definido o que se entende por nZEB. De acordo com a Portaria n.º 42/2019, de 30 de janeiro, um nZEB é um edifício que apresenta um R_{IEE}⁽¹⁰⁾ máximo de 0,50 e um IEE_S⁽¹¹⁾ não superior a 75% do valor do IEE_{S,ref}. Ou seja, a classe energética mínima para que um edifício seja considerado um nZEB é A. Contudo, caso exista produção renovável, só é contabilizada aquela efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada pelo edifício.

A metodologia, adotada pelo governo português, para a determinação do consumo de energia primária pelo edifício embora esteja em concordância com a versão mais recente da Diretiva 2010/31/UE, não contempla diferentes fatores de conversão em energia primária para os fluxos de energia que existem no edifício, para o mesmo vetor energético atendendo à sua origem⁽¹²⁾ (renovável ou não-renovável). Resulta daqui que o indicador do consumo de energia primária é representado por um valor de certa forma “fictício”. Isto sucede dado aos fatores de conversão não preverem a realidade existente no setor energético nacional, como sugere quer a REHVA [7], no seu relatório de revisão à metodologia da EPBD-*recast*, quer Sartori *et al.* [8]. Adicionalmente, a metodologia portuguesa não respeita na sua integridade a recomendação da Comissão Europeia de julho de 2016 que estabelece as orientações para a promoção dos nZEB⁽¹³⁾. Este documento preparado pela Comissão Europeia ressalva a importância dos Estados-Membros terem «(...) de definir os fatores de energia primária por vetor de energia (...) [, que] podem basear-se em valores médios nacionais ou regionais ou em valores específicos (...) [e] devem ter em conta o teor de energias renováveis da energia fornecida ao edifício,

⁽⁶⁾ Artigo 2.º da Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, alterada pela Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 e pelo Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018.

⁽⁷⁾ Alínea a), do número 3, do Artigo 9.º e o número 1 do Anexo I da Diretiva 2010/31/UE.

⁽⁸⁾ O Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012 da Comissão Europeia não é esclarecedor o suficiente nesse âmbito.

⁽⁹⁾ Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations.

⁽¹⁰⁾ Rácio de Classe Energética determinado de acordo com o Despacho n.º 15793-J/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia.

⁽¹¹⁾ Indicador de Eficiência Energética S definido de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro na sua redação atual.

⁽¹²⁾ Despacho n.º 15793-D/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia.

⁽¹³⁾ Recomendação (UE) 2016/1318 da Comissão Europeia de 29 de julho de 2016.

incluindo a proveniente de fontes próximas, a fim de colocar em pé de igualdade as fontes de energia renováveis no local e fora do local (...)».

Analisando o *status quo* da transposição da definição de nZEB prevista pela Diretiva 2010/31/UE, verifica-se que cada Estado Membro da União Europeia decidiu seguir um caminho próprio, adotando a metodologia que lhe pareceu melhor [6]. Embora se tenha verificado uma melhoria da qualidade dos regulamentos afetos ao desempenho energético dos edifícios, em termos europeus o consumo de energia primária e a forma como é contabilizada a incorporação de energia renovável não pode ser comparada dado à diversidade de metodologias. Agostini [6] refere a urgência da Comissão Europeia numa próxima revisão⁽¹⁴⁾ à legislação impor uma definição de nZEB transversal a todos os Estados Membros, assim como, uma metodologia robusta de cálculo das necessidades energéticas e de contabilização do consumo de energia primária não-renovável e renovável. Adicionalmente, existe um conceito que não está definido com rigor e clareza quer na legislação europeia quer na nacional em todos os Estados Membros: trata-se do conceito de fronteira de ação do edifício e de como poderá estar limitada a interação do mesmo com a rede de fornecimento de energia [6]. A definição deste conceito é crucial para edifícios que sejam obrigados a ter os seus centros de produção renovável deslocalizados, porque caso o centro produtor não esteja diretamente ligado às fontes de consumo o edifício poderá não ser encarado como um nZEB ou NZEB, mas simplesmente um edifício com alto desempenho energético [7] [8].

No âmbito português, a aplicação do Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, implica a integração de produção renovável para que seja possível atingir o balanço de energia nulo ou quase nulo nos edifícios classificados como nZEB. A integração de produção renovável no edifício está abrangida pelo Regime de Produção Distribuída instituído pelo Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, que regula a *«(...) produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis (...)»*⁽¹⁵⁾. No entanto, o conceito de fronteira de ação do edifício que faz parte integrante do Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto é vago, sendo a sua definição pouco clara, mesmo com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.ºs 194/2015, de 14 de setembro e 28/2016, de 23 de junho. Contudo, verifica-se a existência de um *lapsus memoriae* por parte do legislador, dado que o Regime de Produção Distribuída define que a fronteira de ação do edifício, no âmbito de produção de energia elétrica para autoconsumo, está vinculada exclusivamente ao *«(...) mesmo local servido pela instalação de utilização de energia elétrica»*⁽¹⁶⁾, não sendo possível a instalação de unidades de produção fora do raio de ação da instalação de utilização de energia elétrica do edifício.

Atendendo ao disposto anteriormente, na presente tese é considerado que o conceito de fronteira de ação do edifício, no âmbito da energia elétrica e da interação edifício-RESP, é definido como *“o próprio edifício, a sua fração autónoma ou a parcela de terreno onde se insere, tal que seja descrito como uma única instalação elétrica de consumo, associada ou não a um contrato de fornecimento de eletricidade celebrado com um comercializador”*⁽¹⁷⁾.

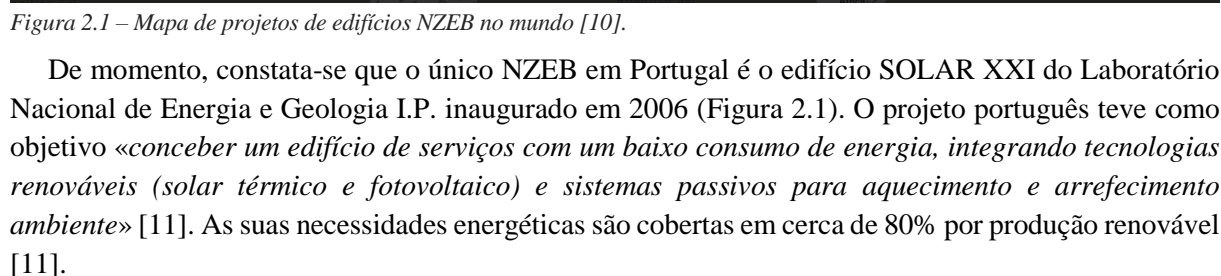
⁽¹⁴⁾ A revisão realizada em dezembro de 2018 não esclarece as dúvidas levantadas por Agostini [6] em 2015.

⁽¹⁵⁾ Numero 1 do Artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

⁽¹⁶⁾ Numero 5 do Artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

⁽¹⁷⁾ Trata-se da interpretação jurídica realizada aos diplomas pelo o autor.

Um dos objetivos da *IEA Task 40/Annex 52 “Towards Net Zero Energy Solar Buildings”* foi realizar um levantamento de todos os edifícios ZEB já existentes [9]. De acordo com Musall [10], o número de projetos já concretizados ascende a mais de 280, sendo que 80% dos NZEB’s estão localizados na Europa. A grande maioria dos edifícios surgiram inicialmente como casos de estudo com o fim de tornar o processo de construção e utilização dos edifícios mais sustentável [9]. Os NZEB existentes são bons exemplos de que tipo de estratégias e medidas de otimização os projetistas devem socorrer. Até ao momento, os NZEB construídos aliam na sua maioria estratégias passivas de climatização, utilizando sistemas de apoio no caso das condições do clima não serem as mais favoráveis. A tecnologia de produção de energia utilizada na generalidade dos edifícios é o solar fotovoltaico para produção de energia elétrica, havendo alguns casos que ainda utilizam em conjunto o solar térmico para aquecimento de águas sanitárias e como fonte de energia térmica principal para o aquecimento dos espaços [9].



De momento, constata-se que o único NZEB em Portugal é o edifício SOLAR XXI do Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P. inaugurado em 2006 (Figura 2.1). O projeto português teve como objetivo «*conceber um edifício de serviços com um baixo consumo de energia, integrando tecnologias renováveis (solar térmico e fotovoltaico) e sistemas passivos para aquecimento e arrefecimento ambiente*» [11]. As suas necessidades energéticas são cobertas em cerca de 80% por produção renovável [11].

3. Caso de Estudo

O caso de estudo consiste na conceção de um edifício capaz de produzir na integridade a energia que necessita para a sua operação. O projeto do edifício foi desenvolvido conjuntamente com o gabinete de arquitetura de Isabel Aires e José Cid e com Engenheiro Carlos Aires da PGI, Lda.

O edifício em questão é propriedade de uma entidade empresarial privada, e tem como função albergar as atividades de comércio e de distribuição de sistemas de energias renováveis, de tratamento de água e os consumíveis a eles inerentes, as atividades de avaliação da qualidade da água, de reparação de máquinas elétricas (bombas de água, motores, inversores, etc.) e de formação profissional.

O edifício do caso de estudo, doravante designado por edifício ESNE, é constituído por três pisos. O Piso 0 alberga o Armazém, a Sala das Baterias e Inversores e a Loja, estando aqui concentradas as atividades de comércio da empresa. Encontra-se aqui o espaço dedicado à instalação dos inversores e dos bancos de baterias dado ao acesso para manutenção e substituição ser mais eficaz. No Piso 1 encontram-se os laboratórios de Química e Microbiologia e de Máquinas Elétricas, os gabinetes de apoio, a sala de reuniões e a sala de refeições. Este piso é o núcleo do edifício, e como tal, foi organizado em termos de distribuição espacial de forma a que as divisões com menor carga térmica fossem concentradas na ala sul, dando lugar na ala norte às que necessitam de uma correção de carga térmica mais eficaz. O último piso é dedicado em exclusividade ao Auditório com duas salas de apoio e às zonas técnicas.

3.1. Localização

O edifício ESNE localiza-se nos Lotes 31 e 32 da Rua B, na Zona de Atividades Económicas (ZAE) de Vila Nova de S. Bento, concelho de Serpa (margem esquerda do Guadiana). A região do Baixo Alentejo Interior é caracterizada por um clima temperado com verão quente e seco, podendo por vezes aproximar-se de um clima semiárido frio [12]. Na Figura 3.1 podemos observar a localização geográfica de Vila Nova de S. Bento, assim como, as normais climatológicas obtidas através do ficheiro climático produzido pelo LNEG, I.P. no âmbito do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto com posteriores alterações, para o concelho de Serpa [13].

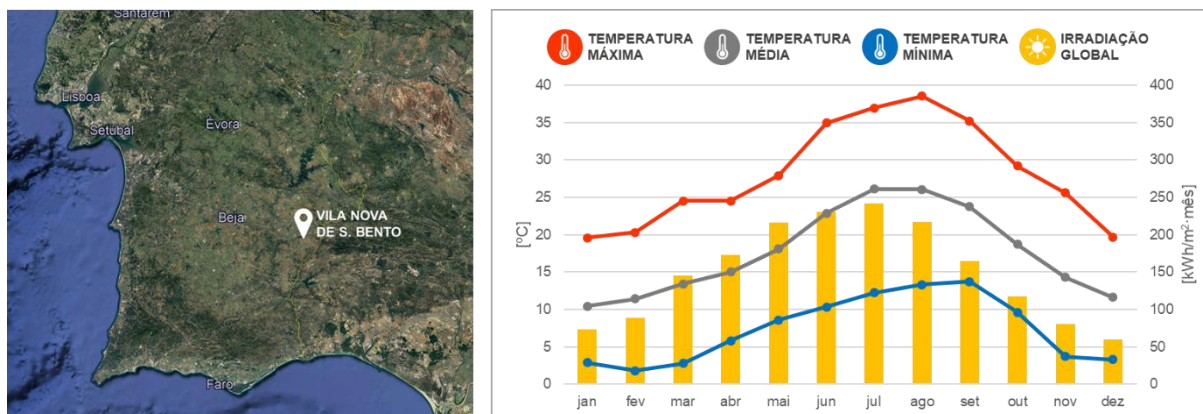


Figura 3.1 – Normais Climatológicas para a localidade do edifício ESNE. Imagem de satélite adaptada do Google Earth Pro.

A região de Serpa é caracterizada, assim como o sul da Península Ibérica, pela disponibilidade abundante do recurso solar, que apresenta uma irradiação solar média anual de 1800kWh/m². O elevado potencial denota quer o possível aproveitamento deste recurso para produção de energia elétrica, quer os cuidados que os edifícios nesta região deverão apresentar na sua construção, de forma a minimizarem os ganhos solares durante a estação de arrefecimento.

A temperatura média anual para Serpa é de 17,7°C, e considerando a curva da temperatura média da Figura 3.1, verifica-se que a amplitude térmica média anual é de cerca de 15,7°C. Atendendo ao Despacho n.º 15793-F/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia, o município de Serpa é classificado como zona

climática de inverno “I1” apresentando 1 124°C·dias de aquecimento, e como zona climática de verão “V3” com uma temperatura média na estação de arrefecimento de 24,7°C.

3.2. Projeto de Arquitetura

O conceito do edifício ESNE assenta no princípio da arquitetura bioclimática. Esta aborda o clima como uma variável importante no processo de conceção, dando ênfase ao sol, ao vento e à água, na sua interação com o edifício, para um papel fundamental no mesmo. Ou seja, trata-se da definição de um conjunto de regras simples, que mais não visam do que compreender como as variáveis climáticas podem interagir com o edifício de forma positiva e propiciar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço [14].

A geometria do edifício foi definida atendendo a três restrições: (i) a fachada a sul deverá sombrear-se a si mesma, de forma a que os ganhos solares durante a estação de arrefecimento sejam minimizados; (ii) a cobertura deverá ser de uma única água com inclinação orientada a sul; (iii) os vãos envidraçados e aberturas para ventilação natural deverão concentrar-se na sua maioria a sul e a norte.

Ao invés da fachada sul deter um sistema de múltiplas palas horizontais como elemento de obstrução solar, que requer manutenção regular de limpeza, esta será construída com uma inclinação de 55° face ao plano horizontal. Na Figura 3.2 apresenta-se a trajetória do sol entre os solstícios de dezembro e junho (esquerda) e entre os solstícios de junho e dezembro (direita). Foi através desta que foi definida a inclinação de 55°, tal que garante que a partir do final de março até ao final de setembro é possível assegurar um sombreamento adequado dos vãos envidraçados a sul.

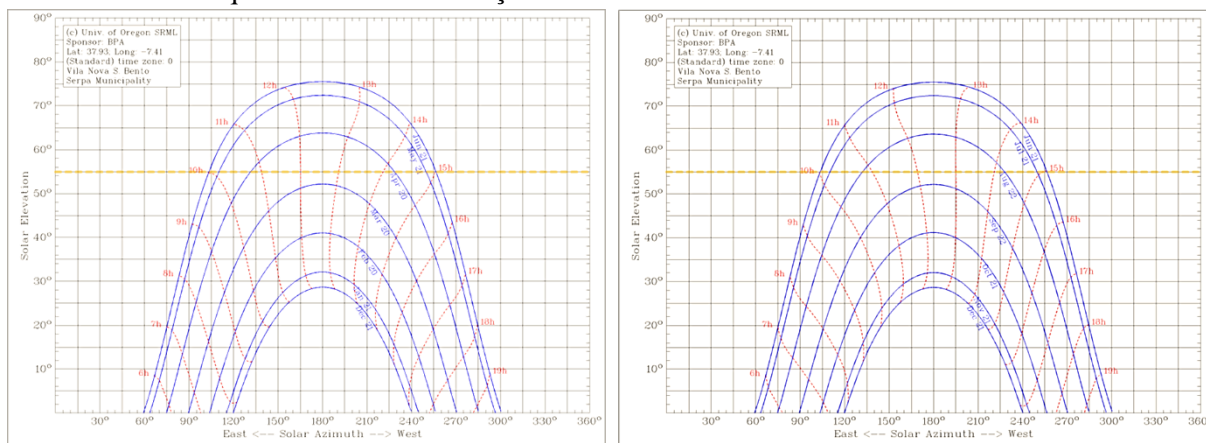


Figura 3.2 - Variação da trajetória do Sol local entre os solstícios de dezembro e de junho (esquerda) e entre os solstícios de junho e dezembro (direita) [15]. A vermelho encontra-se assinalado a hora local.

Partindo do princípio da fachada sul, e garantindo uma forma harmoniosa e estruturalmente estável, a fachada norte foi definida com uma inclinação de 75° face ao plano horizontal em sentido contrário ao da fachada sul. O edifício cresce nos sentidos norte e sul em cada piso. Um dos benefícios diretos desta solução é a criação de uma cobertura ampla e livre para a instalação de painéis solares fotovoltaicos.

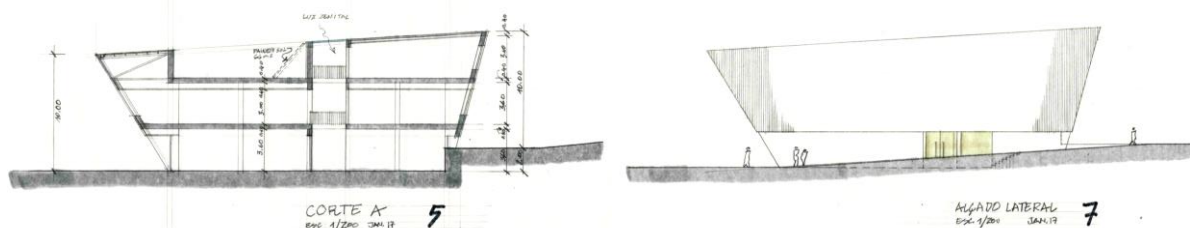


Figura 3.3 – Corte A (esquerda) e Alçado Lateral Este (direita) do Edifício ESNE, extraído do Estudo Preliminar realizado pelos arquitetos Isabel Aires e José Cid.

O edifício ainda dispõe de um sistema de ventilação natural, por efeito chaminé, através de uma claraboia com aberturas motorizadas, que comunica com o vão central. Todas as divisões que comunicam com as zonas de circulação ou diretamente com o vão central dispõem de grelhas de ventilação ou de

janelas interiores. As grelhas de ventilação serão instaladas imediatamente a seguir à ombreira da porta (exceto nas instalações sanitárias que serão instaladas na zona inferior da porta de acesso a estas). Estas servirão de abertura permanente que garante a circulação do ar entre espaços aquando da abertura das janelas da claraboia e das janelas das respetivas divisões.

Para além do vão central servir de chaminé de extração do ar viciado, este permite também a captação e distribuição da luz solar para iluminação natural dos espaços interiores.

O edifício, para além do sistema de ventilação natural, terá um sistema AVAC que irá operar quando as condições externas não permitam a correção da carga térmica ou garantam os caudais mínimos de ventilação.

O trabalho de arquitetura desenvolvido nesta tese teve como ponto de partida o Estudo Preliminar realizado pelos arquitetos Isabel Aires e José Cid, que embora nas plantas produzidas já contemplassem na integridade o conceito de edifícios bioclimáticos, não estavam detalhadas o suficiente para além de estarem em suporte de papel.

Um dos primeiros objetivos foi digitalizar todo o projeto e avaliar se estava garantida a implementação de todas as medidas de controlo e aproveitamento solar e de promoção de ventilação natural. A primeira alteração implementada foi relativa aos vãos envidraçados do vão central. Na Figura 3.3 pode-se observar que a claraboia é colinear com a cobertura, o que representa um risco de ganhos solares excessivos durante a estação de arrefecimento, para além da ventilação natural não se realizar em dias com precipitação. Como tal, de forma a minimizar possíveis inconvenientes pela adoção de uma janela integrada na cobertura, foi proposto a criação de um “chapéu” com pala. Ou seja, os vãos envidraçados passaram a ser verticais, tendo um sistema passivo de sombreamento solar (Figura 3.4 A).

Dado à condicionante espacial, dois gabinetes ficaram com as suas janelas para o exterior na fachada oeste do edifício. Tratam-se dos Gabinetes 3 e 4. Nesta fachada não existe a possibilidade de um sombreamento passivo como ocorre na fachada sul para os Gabinetes 1 e 2, e por se tratarem de dois vãos envidraçados que comunicam com áreas onde os ganhos solares não conseguem ser facilmente “diluídos”, foi projetado um sistema de sombreamento de lâminas verticais com uma abertura de 45°, uma largura de 35cm e que causam um fator de obstrução para radiação perpendicular à fachada de 84% (Figura 3.4 A e B). Como se trata de um sistema permanente e não móvel teve-se atenção em garantir um espaçamento adicional entre lâminas de forma a permitir a transmissão da radiação difusa essencial para a iluminação natural dos espaços interiores. O sistema de sombreamento de lâminas verticais está afastado 1m da fachada de forma a que as janelas possam abrir e ser limpas.

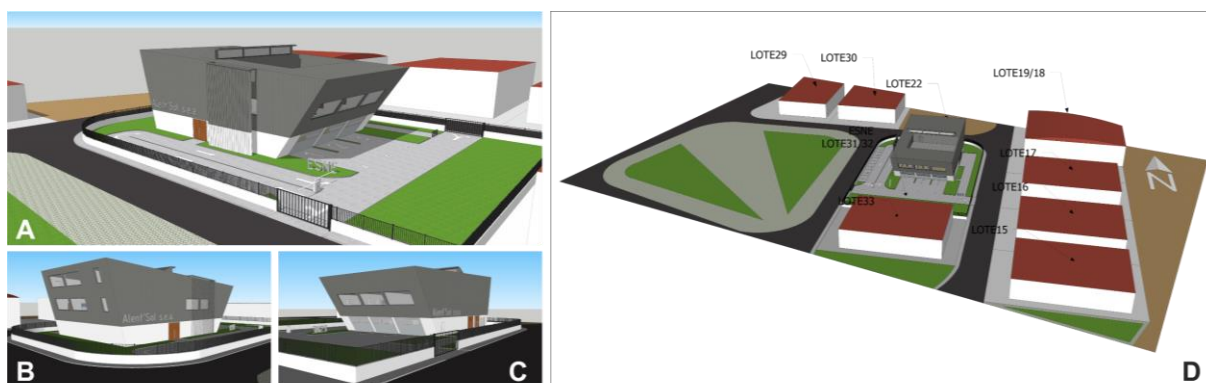


Figura 3.4 – Edifício ESNE visto de sudoeste (A), noroeste (B), sudeste (C) e vista aérea da zona circundante (D).

Durante este processo verificou-se, também, que só o Laboratório de Química e Microbiologia e o Auditório estavam dotados com vãos envidraçados interiores móveis que comunicam com o vão central. Como tal, foi proposto que todas as divisões⁽¹⁸⁾ que comunicam diretamente com o vão central fossem separadas deste por vãos envidraçados (Figura 3.5).

⁽¹⁸⁾ Foram excluídas desta proposta zonas técnicas e a zona sul do Piso 0.



Figura 3.5 – Localização do vão central e detalhe de como este se desenvolve ao longo do seu pé-direito.

O Estudo Preliminar não especificava que tipo de construção seria adotada, tendo-se definido os sete princípios que deveriam “regular” a escolha dos materiais/solução de construção:

- (i) implementar estruturas de baixo consumo de betão;
- (ii) permitir a disponibilidade de massa térmica útil no interior do edifício de forma a potenciar o efeito de inércia térmica das divisões;
- (iii) minimizar o efeito das pontes térmicas planas e lineares;
- (iv) garantir um bom conforto acústico no interior do edifício, de forma a evitar perturbações ao funcionamento das atividades desenvolvidas nas várias divisões deste;
- (v) garantir que os vãos envidraçados exteriores permitam um aproveitamento correto do recurso solar, não podendo apresentar um U_{global} superior a $1,65\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ e um fator solar (g) superior a 0,50;
- (vi) garantir que os vãos opacos exteriores não apresentem um U_{global} superior a $1,65\text{W/m}^2\cdot\text{K}$;
- (vii) garantir que a envolvente opaca exterior não apresente um U_{global} superior a $0,40\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, e que a envolvente exposta à radiação solar não apresente uma absorvidade solar superior a 0,70.

Os princípios elencados acima foram redigidos de forma a que qualquer solução construtiva adotada cumprisse automaticamente os requisitos da qualidade térmica da envolvente e do fator solar dos vãos envidraçados exigidos pelo RECS⁽¹⁹⁾, e descritos na Portaria n.º 349-D/2013, de 2 dezembro alterada pela Declaração de Retificação n.º 3/2014, de 31 de janeiro, e pelas Portarias n.ºs 17-A/2016, de 4 de fevereiro e 42/2019, de 30 de janeiro. Na Tabela A.1 podem ser consultados todos os materiais e soluções construtivas adotadas. Atendendo a esta, verifica-se que o coeficiente de transferência de calor máximo para a envolvente opaca exterior, não em contacto com o solo, é de $0,34\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, para os vãos opacos exteriores é de $1,10\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ e para os vãos envidraçados é de $1,40\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ com um g de 0,40.

No Projeto de Arquitetura que se anexa ao presente documento, disponibiliza-se uma visão gráfica das soluções construtivas adotadas para a envolvente opaca (Figura A.14 à Figura A.17), para além da localização em planta dessas mesmas soluções construtivas (Figura A.18 à Figura A.20).

3.3. Projetos Complementares

3.3.1. Projeto de Iluminação

O Projeto de Iluminação surgiu dado ao Projeto de Arquitetura em Estudo Prévio não contemplar nenhuma informação acerca da temática luminotécnica. O caminho mais fácil seria a adoção de valores de potência de equipamentos de iluminação por unidade de área de pavimento, que podem ser facilmente encontrados quer na literatura quer na própria legislação, que, contudo, traria um problema adicional de tradução da realidade para o modelo de simulação dinâmica do edifício. Este surge quer pela particularidade geométrica de certas divisões presentes no edifício, quer pelos valores tabelados não preverem a forma de como a luz é afetada pela presença e disposição do mobiliário ou outro tipo de obstáculo. Este projeto tem como fim definir o sistema de iluminação e o seu perfil base de *performance*,

⁽¹⁹⁾ Artigo 34.º do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto na sua redação atual.

de forma a que possa ser devidamente simulado em termos de consumo de energia elétrica e da sua influência na carga térmica de cada espaço/divisão pelo *EnergyPlus®*.

O sistema de iluminação foi projetado e simulado com recurso ao DIALux evo® 7.1, tendo-se seguido os seguintes princípios:

- (i) iluminância de referência de cada divisão de acordo com as recomendações da norma EN12464 adotadas pelo DIALux evo® 7.1;
- (ii) as luminárias a instalar apresentarem uma “forma” normalizada e com lâmpada substituível;
- (iii) as luminárias apresentarem um rendimento luminoso não inferior a 70lm/W, sendo que para iluminação de utilização pontual este toma o valor mínimo de 40lm/W⁽²⁰⁾;
- (iv) a densidade de potência instalada de luminárias não ultrapassar o valor de 9W/m² para divisões dedicadas a atividades laborais [16];
- (v) nas instalações/espacos com ocupação pontual, especialmente instalações sanitárias e escadas, cumprir os requisitos previstos no RECS e garantir que a densidade de potência instalada não ultrapasse o valor de 15W/m²;
- (vi) exista uma garantia de uniformização da distribuição do fluxo luminoso no plano de uso;
- (vii) obtenção da iluminância média mantida para cada espaço considerando um cenário com ausência de luz solar ou de iluminação artificial exterior.

No Projeto de Iluminação, que segue em anexo, encontram-se detalhados os resultados da *performance* do sistema de iluminação, as características técnicas de cada luminária, a localização e disposição de cada luminária em planta e em corte, e as linhas isográficas de iluminância para cada espaço/divisão no plano de uso. Na Figura A.21 que se segue em anexo, verifica-se que todos os espaços apresentam o valor de DPI abaixo do limite máximo previsto na Portaria n.º 349-D/2013, de 2 dezembro com posteriores alterações.

3.3.2. Projeto de Ventilação Mecânica

O Projeto de Ventilação Mecânica foi desenvolvido em conjunto com o Engenheiro Carlos Aires da PGI, Lda. Este projeto teve como fim definir: (i) os caudais de ar novo adotados; (ii) o tipo de equipamentos para entregar o ar novo e realizar a extração do ar viciado, e (iii) as perdas de carga do sistema. O documento referente a este projeto segue-se em anexo, estando dividido em três partes: apresentam-se na primeira parte as divisões que apresentam requisitos de ventilação⁽²¹⁾ e o desenho das condutas e dos pontos de insuflação e extração, na segunda as perdas de carga no sistema e na terceira os dados técnicos de operação da UTAN.

O sistema de ventilação mecânica terá como função única fornecer a quantidade ar novo exigida por cada espaço, sendo que a UTAN será assistida por uma unidade VRV de forma a garantir que o ar novo é entregue a uma temperatura dentro do intervalo de conforto. Já a correção da carga térmica será realizada com ventiloconvectores alimentados por unidades VRV.

⁽²⁰⁾ Luminárias com rendimento luminoso de 70lm/W são classificadas como Classe A+ e com um rendimento luminoso de 40lm/W são classificadas como Classe B, de acordo com o Regulamento Delegado (UE) n.º 874/2012, da Comissão Europeia de 12 de julho de 2012.

⁽²¹⁾ Atendendo aos requisitos definidos na Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro.

4. Avaliação Aerodinâmica

4.1. Ventilação Natural

A ventilação natural traduz-se como o caudal de ar novo em circulação originado pela ação do vento e/ou pela diferença da densidade do ar devido à diferença da temperatura entre o interior e o exterior (impulsão térmica ou efeito chaminé) [17]. A disposição, a localização e controlo das aberturas para ventilação deverão permitir a utilização do efeito combinado da ação do vento e da impulsão para uma ventilação dos espaços interiores do edifício, assegurando uma distribuição de ar novo a todo o edifício evitando zonas de estagnação. Contudo, as aberturas existentes no edifício não conseguem garantir em permanência a qualidade do ar interior, dado que a sua ação está dependente das condições exteriores (ação do vento e temperatura), assim como, das características locais do edifício (orientação, obstáculos, etc.) [14] [17].

Para que seja viabilizado o processo de ventilação é necessário que se estabeleça uma diferença de pressão entre o interior do edifício e o exterior. O caudal de ventilação que ocorre através de qualquer abertura depende dessa diferença. Atendendo à equação de Bernoulli, para um fluido incompressível e o estado estacionário, o caudal de ventilação é dado pela expressão (4.1), que inclui as diferenças de pressão estática, pela ação do vento, pela impulsão térmica ou por meios mecânicos de ventilação [17] [18]:

$$\dot{V} = c_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho} \quad (4.1)$$

Em que \dot{V} é o caudal de ventilação em [m³/s], c_d é o coeficiente de descarga da abertura [adimensional], A a área da abertura [m²], Δp a diferença de pressão em [Pa] e ρ a massa volúmica do ar em [kg/m³]. O coeficiente de descarga para aberturas de bordos retos e escoamentos turbulentos desenvolvidos toma valores de 0,60 a 0,65 [17] [18], que tem o objetivo de contabilizar os efeitos de contração do escoamento na passagem pela abertura e de fricção devido às forças viscosas [18]. No entanto o valor deste coeficiente, de acordo com a revisão realizada por Yang *et al.* [19], varia com a geometria da abertura, o número de Reynolds, a diferença de pressão através da abertura e com a diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

A impulsão consiste na diferença de pressão hidrostática causada pelo peso das colunas de ar que existem no interior ou exterior do edifício. A pressão hidrostática no ar depende da massa volúmica e da altura relativa acima do ponto de referência, como tal, considerando o efeito de estratificação do ar pela existência de um gradiente de temperatura ao longo da coluna de ar interior ou exterior, temos que esta é dada por [17] [18]:

$$\Delta p_s = (\rho_\infty - \rho_i) \cdot a_g \cdot (H_n - H) \quad (4.2)$$

Onde Δp_s é a pressão hidrostática em [Pa], ρ_∞ e ρ_i a massa volúmica do ar exterior e interior, respetivamente [kg/m³], a_g é a aceleração gravítica 9,81m/s², H_n é a altura do plano de pressão neutra [m], e H é a altura a que se encontra a abertura [m].

Quando o vento encara o edifício, cria uma distribuição de pressão estática ao longo das superfícies do edifício. A pressão estática, de forma genérica, toma valores positivos para superfícies a barlavento e negativos para as restantes superfícies [17]. Esta é dada pela expressão (4.3), em que p_v é a pressão estática pela ação do vento [Pa], c_p é o coeficiente de pressão de uma dada superfície, e u_∞ é a velocidade do vento não perturbada a uma cota de referência [m/s].

$$p_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot c_p \cdot u_\infty^2 \quad (4.3)$$

A pressão estática para além de depender da massa volúmica do ar e da velocidade do vento, depende do coeficiente de pressão que avalia como esta se comporta atendendo à direção do vento, à orientação das superfícies, à forma do edifício, aos seus elementos que imponham a separação do escoamento, e à presença de obstáculos/elementos de rugosidade na envolvente. Como tal, este parâmetro não pode ser

extrapolado através de correlações simplistas [17], tendo de ser determinado recorrendo a modelação CFD (*Computational Fluid Dynamics*) ou a ensaios em túnel de vento [20]. De acordo com Anderson [21] o coeficiente de pressão para um dado ponto numa superfície é dado por:

$$c_p = \frac{p_l - p_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot u_\infty^2} \quad (4.4)$$

Em que p_l é a pressão estática local em [Pa], onde o c_p é avaliado, p_∞ é a pressão estática do escoamento não perturbado em [Pa], e $\frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot u_\infty^2$ traduz a pressão dinâmica associada ao escoamento em [Pa]. No caso dos edifícios existem bases de dados de distribuição de c_p atendendo a construções de forma correntes, que, no entanto, deve ser utilizada com cuidado visto que cada edifício e cada local é um caso específico [20] [22].

Para contemplar na expressão (4.1) o efeito combinado da ação do vento com a impulsão térmica, a diferença de pressão estática total (Δp_T) é dada por [18]:

$$\Delta p_T = (\rho_\infty - \rho_i) \cdot a_g \cdot (H_n - H) + \frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot c_p \cdot u_\infty^2 - p_i \quad (4.5)$$

Onde p_i é a pressão interior da divisão em [Pa].

No entanto, a ventilação natural para além de ocorrer por via da abertura intencional de janelas, grelhas e portas, ocorre também através de fluxos de ar não controláveis que se desenvolvem pelas frinchas ou fendas existentes nos elementos de abertura. Estes fluxos designam-se por infiltrações, e de acordo com a ASHRAE [17] podem ser descritos pela expressão (4.6), onde c_q é o coeficiente de caudal expresso em $[\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{Pa}^n]$ e n o expoente adimensional de pressão.

$$\dot{V} = c_q \cdot (\Delta p)^n \quad (4.6)$$

Os valores de c_q para os elementos de abertura são obtidos através de ensaios realizados em laboratório, e que podem ser encontrados, por exemplo, na Norma Britânica BS EN 12207:2000 [23] que classifica as janelas e portas quanto à sua permeabilidade ao ar. O expoente de pressão toma tipicamente o valor de 0,65, no entanto este poderá variar de acordo com o tipo de abertura ou com a gama de intervalos de diferença de pressão [17].

4.2. Ensaio em Túnel de Vento

Os processos indutores da ventilação natural são a impulsão térmica e a ação do vento que podem atuar em conjunto, como já referido. O *EnergyPlus*®⁽²²⁾ permite modelar a ventilação natural através de dois modelos: o *Zone Airflow* e o *Airflow Network*. O primeiro modelo tem como fim uma aproximação mais simplista, e menos exigente em termos computacionais, da contabilização do efeito de ventilação natural no edifício através dos módulos *ZoneVentilation* e *ZoneInfiltration* sem a necessidade de dados adicionais para além daqueles que definem o modelo geométrico, a envolvente em termos térmicos, os ganhos internos e os ganhos solares [20]. Embora este tenha em atenção a velocidade do vento e aplique uma correção atendendo à direção do vento e à orientação da abertura, este modelo é cego à forma da distribuição da pressão estática pela ação do vento definida pela geometria do edifício e pelos seus elementos que impõem a separação do escoamento, tal como pela presença de obstáculos na vizinhança. Além disso para casos com um número elevado de zonas térmicas este não tem capacidade eficaz de modelar as trocas de ar entre divisões [24]. O *Airflow Network* trata-se de um modelo mais robusto e resulta da aplicação de uma rede nodal onde cada nodo representa uma zona térmica conectada aos restantes nodos pelas aberturas presentes no edifício [20]. Este determina a pressão estática em cada nodo e o caudal de ar que atravessa as diferentes aberturas e/ou orifícios, atendendo à velocidade e direção do vento, ao c_p associado a cada abertura e à temperatura e carga sensível e latente [20]. Como

⁽²²⁾ Software de simulação energética em edifícios.

tal, a utilização deste modelo só é possível com recurso à definição das curvas de $c_p(\theta)$ para cada abertura.

O caso do edifício ESNE é um bom exemplo em que não é possível utilizar dados de c_p presentes na literatura, devido à sua especificidade geométrica. Como tal, a avaliação da distribuição de c_p no edifício para todas as superfícies exteriores relevantes recorreu a um dos túneis de vento do LNEC⁽²³⁾.

Atendendo ao Projeto de Arquitetura do edifício, foi produzida uma maquete do mesmo à escala 1:200 através de impressão 3D em acrílico onde foram incluídos os furos para as tomadas de pressão (Figura 4.1). A distribuição das tomadas de pressão foi definida de modo a abranger uniformemente as superfícies em estudo, dando um especial ênfase às zonas onde se localizam as aberturas e às esquinas das fachadas e da cobertura. É junto a estas, que devido ao efeito de separação, o escoamento se comporta de forma mais complexa e onde é esperado que surjam gradientes de pressão mais intensos. Importa saber como estes se desenvolvem de modo a caracterizar os efeitos de *stress* mecânico sobre os revestimentos exteriores ou a forma de como poderão condicionar a qualidade do processo de ventilação natural. O modelo é oco de forma a possibilitar a passagem das mangas que ligam as tomadas de pressão aos transdutores. Foram instaladas ao todo 89 tomadas de pressão, cuja distribuição e coordenadas encontram-se no anexo B.2.1.

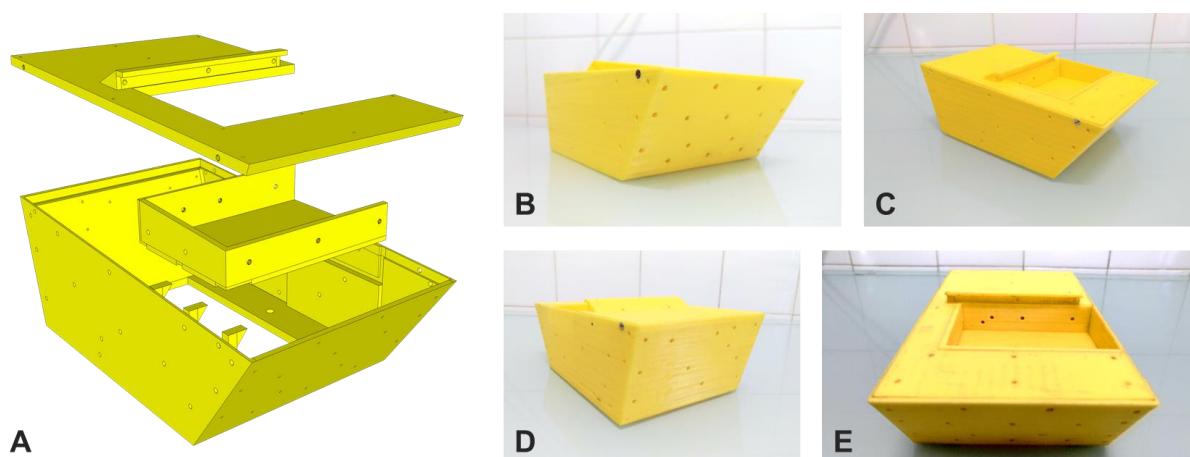


Figura 4.1 – Maquete do edifício ESNE para o túnel de vento em que (A) mostra as peças que a constituem e (B), (C), (D) e (E), apresentam o resultado da impressão 3D para diferentes perspetivas (sudoeste, oeste, nordeste e sul superior, respetivamente).

O edifício irá ser construído na ZAE de Vila Nova de S. Bento, mais propriamente nos lotes 31 e 32, como tal, estando inserido em meio urbano é necessário reproduzir no ensaio do túnel de vento os possíveis obstáculos que afetarão a ação do vento sobre o mesmo. A maquete produzida, à escala 1:200, representa apenas a área circundante ao edifício ESNE (Figura 4.2), não se tendo considerado outros edifícios para além daqueles que se encontram dentro da área a tracejada a vermelho (Figura 4.2, esquerda), dado ao espaço existente entre o local de estudo e os restantes edifícios permitir a recuperação do escoamento. Os edifícios vizinhos modelaram-se através de blocos de XPS (poliestireno extrudido), com dimensões equivalentes aquelas mencionadas na planta da ZAE disponibilizada pela Câmara Municipal de Serpa [25], no entanto, as cotas dos edifícios foram baseadas no levantamento urbanístico presente na revisão do Plano de Urbanização de Vila Nova de S. Bento realizada em 2013 [26].

O edifício ESNE é o edifício mais alto do conjunto analisado, apresentando uma cota de 12m, o segundo mais alto está instalado nos lotes 18-19-20 e tem uma cota de 8m. Os restantes edifícios apresentam uma cota de 6m.

⁽²³⁾ Túnel de circuito fechado com câmara de ensaios com 3m×1,2m×1m (comp.×larg.×alt.). Dispõe de um ventilador axial controlado por variador de frequência, permitindo a variação contínua da velocidade do escoamento até 45m/s, com turbulência inferior a 1% (em vazio) [61].

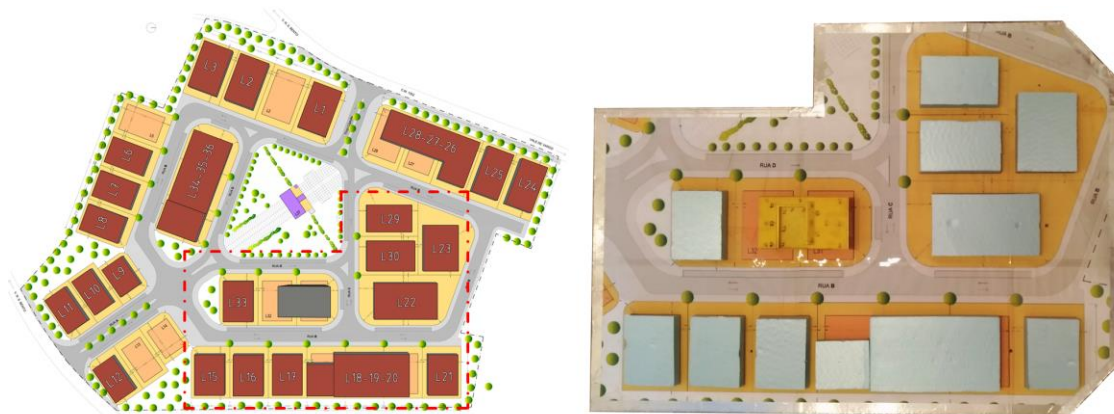


Figura 4.2 – Zona de Atividades Económicas de Vila Nova de S. Bento em vista 3D superior (esquerda) e maquete da área circundante ao edifício ESNE reproduzida à escala 1:200 (direita).

Dado à maquete da ZAE ser independente da maquete do edifício ESNE, o ensaio foi dividido em dois cenários (não Urbanizado e Urbanizado), com a premissa de avaliar o impacto dos edifícios vizinhos na qualidade do sistema de ventilação natural.

Os ensaios decorreram com velocidade do escoamento de 12m/s ($R_e=8,24 \times 10^4$) e para oito direções cardeais (N, NE, E, SE, S, SO, O e NO). A medição das pressões foi realizada através de tomadas (furos de 1,8mm praticados “à face” das superfícies) ligadas por manga flexível a um transdutor de pressão PSI®, com *scanners* de 32 e 64 canais ESP HD, Figura 4.3, associado a um sistema de aquisição DTC *Initium*®. Os dados foram recolhidos à taxa de 2Hz, durante 90 segundos, por ensaio, obtendo-se um valor médio deste conjunto de registos. Todo o sistema de aquisição é controlado por computador através de *software* dedicado que procede, também, ao armazenamento dos registos para posterior tratamento.



Figura 4.3 – (A) Tomadas de pressão conectadas por manga flexível. (B) Transdutor de pressão PSI® com scanners de 64 canais ESP HD. (C) Sistema de aquisição dados e painel de controlo do túnel de vento. (D) Maquete no ensaio com urbanizações no túnel de vento.

A pressão estática de referência, que é comum a todo o sistema, foi medida através do tubo de Pitot instalado no topo do túnel de vento. Já a pressão dinâmica do escoamento foi obtida ligando a tomada da pressão total do mesmo tubo de Pitot a um dos canais de aquisição dos transdutores. Obtendo-se assim como sinal de saída a diferença entre a pressão estática local e do escoamento e a pressão dinâmica, os coeficientes de pressão foram determinados pela aplicação da expressão (4.4). Encontram-se na Tabela B.4 os resultados dos coeficientes de pressão para cada tomada de pressão no cenário não urbanizado, e na Tabela B.5 os resultados para o cenário urbanizado.

Contudo, os valores obtidos *per si* não nos permitem dar uma leitura clara de como se desenvolve o gradiente de pressão estática em cada superfície em estudo. Como tal, recorrendo ao *software* gráfico *Surfer*® da *Golden Software*® os valores dos coeficientes de pressão de cada superfície em estudo foram interpolados de forma a obter a sua distribuição, utilizando-se as funções de base radial (RBF, *radial basis functions*). Foi utilizado este tipo de funções dado à sua capacidade de gerar informação para várias dimensões a partir de pontos distribuídos aleatoriamente, respeitando os valores de entrada [27].

Na Figura 4.4 apresenta-se, a título de exemplo, a distribuição dos coeficientes de pressão para os alçados este e oeste para um vento de incidência sul. No cenário não urbanizado, verifica-se que nas

extremidades a sul dos alçados este e oeste existem valores de c_p muito negativos evidenciando o forte efeito de separação do escoamento. À medida que o escoamento recola à superfície ao longo das fachadas os valores de c_p tendem para valores menos negativos, nunca chegando a valores iguais ou superiores a zero, indicando que as fachadas este e oeste não têm a extensão suficiente que permita ao escoamento voltar a fluir junto à superfície. Já no cenário urbanizado, constata-se que o efeito de separação é atenuado pelos edifícios vizinhos, dado ao gradiente de c_p que se desenvolve ao longo da superfície apresentar valores mais próximos de zero.

No alçado sul para um vento com incidência perpendicular e sem obstáculos, seria esperado que todos os valores de c_p em toda a sua extensão fossem positivos, no entanto atendendo à Figura 4.5 (ensaio não urbanizado) verifica-se que na zona central das extremidades laterais estes tomam valores inferiores a zero. Este efeito local é justificado pela inclinação da fachada. Com a presença de edifícios vizinhos a distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul é alterada de forma substancial (Figura 4.5, ensaio urbanizado). A distância entre a fachada em estudo e o edifício em frente a esta não é suficiente para que o escoamento, sob o efeito de separação, recole em cima desta. Poderá dizer-se que a fachada sul se encontra na “sombra” aerodinâmica do edifício vizinho. No caso do alçado norte (Figura 4.5), para vento sul, a distribuição dos coeficientes de pressão não sofre uma interferência substancial pela presença de urbanizações vizinhas visto que estas não perturbam o efeito de separação que ocorre nas extremidades da fachada em causa.

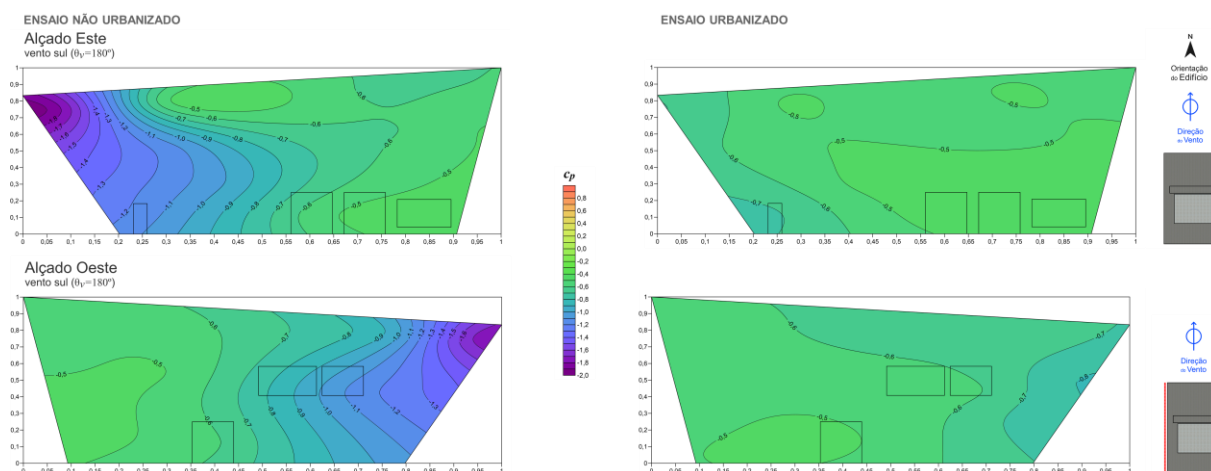


Figura 4.4 – Distribuição dos coeficientes de pressão para os alçados este e oeste para um vento com direção sul.

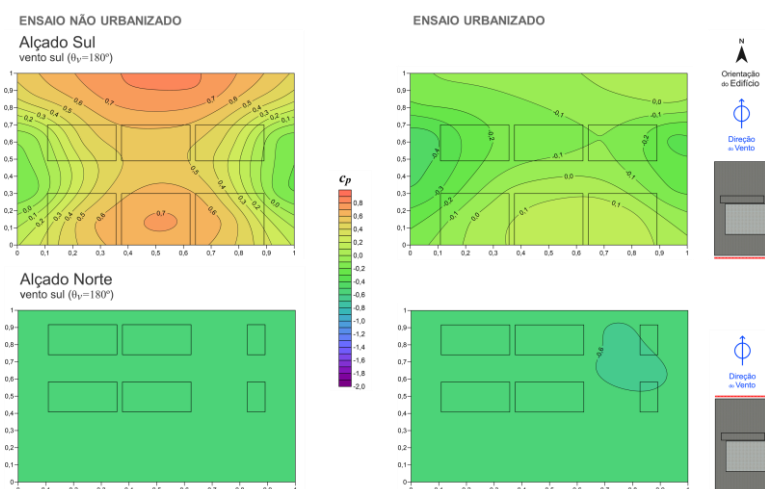


Figura 4.5 – Distribuição dos coeficientes de pressão para os alçados sul e norte para um vento com direção sul.

As figuras anteriores apresentam um extrato das distribuições dos coeficientes de pressão obtidas. Em anexo encontram-se as distribuições dos coeficientes de pressão para todas as superfícies em estudo e em ambos os cenários (Anexo B.2.2, Figura B.19 à Figura B.46).

4.3. Caracterização dos Vãos Envidraçados e Opacos

4.3.1. Coeficientes de Pressão das Aberturas Exteriores

O ensaio no túnel de vento permitiu obter a distribuição dos coeficientes de pressão em cada superfície em estudo, contudo o *Airflow Network* necessita de um valor de c_p para cada vão/abertura. Como tal foi determinado o valor do coeficiente de pressão médio ($c_{p,m}$) para cada vão atendendo à matriz de valores obtida pela interpolação dos dados obtidos no túnel de vento e às coordenadas de cada vão. No entanto, no caso das janelas do tipo projetante foi considerado que a sua área útil de abertura se concentra apenas em 2/3 da sua altura, e como tal o seu $c_{p,m}$ foi determinado desprezando os valores de c_p que se encontram acima dos 2/3 desta. Na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2 encontram-se os valores de $c_{p,m}$ em todas as aberturas em estudo, para as oito direções de vento definidas e para o ensaio não urbanizado e urbanizado, respetivamente. É também apresentada a cota da meia altura de cada abertura.

Tabela 4.1 – Ensaio não Urbanizado: coeficientes de pressão médios em cada abertura para as oito direções do vento.

ENSAIO NÃO URBANIZADO			$c_{p,m}(\theta_v)$							
Localização	Abertura	cota z [m]	norte $\theta_v = 0^\circ$	nordeste $\theta_v = 45^\circ$	este $\theta_v = 90^\circ$	sudeste $\theta_v = 135^\circ$	sul $\theta_v = 180^\circ$	sudoeste $\theta_v = 225^\circ$	oeste $\theta_v = 270^\circ$	noroeste $\theta_v = 315^\circ$
Fachada Norte	Janela Lab, Química 1	5,95	0,35	0,22	-1,24	-0,73	-0,58	-0,79	-0,62	-0,25
Fachada Norte	Janela Lab, Química 2	5,95	0,60	0,05	-1,01	-0,75	-0,57	-0,76	-0,91	0,12
Fachada Norte	Janela Sala Refeições	5,95	0,29	-0,36	-0,60	-0,79	-0,58	-0,74	-1,31	0,35
Fachada Norte	Janela Auditório 1	9,93	0,73	0,28	-1,40	-0,74	-0,59	-0,78	-0,60	-0,14
Fachada Norte	Janela Auditório 2	9,93	0,81	0,07	-0,99	-0,74	-0,56	-0,75	-0,93	0,15
Fachada Norte	Janela Copa	9,93	0,65	-0,22	-0,56	-0,79	-0,58	-0,74	-1,37	0,41
Fachada Este	Porta de Saída de Emergência	1,10	-0,49	-0,31	0,11	0,28	-1,15	-1,19	-0,58	-0,69
Fachada Este	Porta de Entrada Este	1,50	-0,99	0,18	0,35	-0,05	-0,58	-0,94	-0,51	-1,02
Fachada Este	Porta de Entrada Loja	1,50	-1,15	0,27	0,37	-0,10	-0,49	-0,84	-0,51	-1,08
Fachada Este	Janela Loja	1,50	-1,24	0,36	0,27	-0,24	-0,46	-0,74	-0,52	-1,13
Fachada Sul	Portão Sul 1	1,50	-0,46	-0,69	-0,61	-0,24	0,46	0,39	-1,15	-0,68
Fachada Sul	Portão Sul 2	1,50	-0,44	-0,67	-0,75	0,12	0,68	0,24	-0,83	-0,69
Fachada Sul	Portão Sul 3	1,50	-0,43	-0,67	-1,04	0,31	0,48	-0,07	-0,65	-0,71
Fachada Sul	Janela Portão Sul 1	2,04	-0,47	-0,70	-0,59	-0,26	0,43	0,38	-1,19	-0,68
Fachada Sul	Janela Portão Sul 2	2,04	-0,44	-0,67	-0,74	0,12	0,67	0,24	-0,85	-0,69
Fachada Sul	Janela Portão Sul 3	2,04	-0,43	-0,67	-1,05	0,29	0,46	-0,08	-0,65	-0,71
Fachada Sul	Janela Gabinete 2	5,95	-0,48	-0,71	-0,60	-0,21	0,33	0,32	-1,26	-0,69
Fachada Sul	Janela Gabinete 1	5,95	-0,45	-0,68	-0,77	0,09	0,53	0,18	-0,90	-0,70
Fachada Sul	Janela Lab, Máquinas	5,95	-0,44	-0,67	-0,95	0,23	0,29	-0,11	-0,72	-0,73
Fachada Oeste	Porta de Entrada Oeste	1,50	-1,03	-0,94	-0,51	-0,90	-0,60	0,01	0,34	0,14
Fachada Oeste	Janela Gabinete 4	5,95	-0,78	-0,93	-0,55	-1,02	-0,84	0,13	0,38	0,05
Fachada Oeste	Janela Gabinete 3	5,95	-0,59	-0,84	-0,58	-1,05	-1,05	0,22	0,38	-0,04
Terraço (Parede Norte)	Porta Acesso Terraço Técnico	9,10	-0,67	-0,98	-1,02	-0,03	-0,37	-0,76	-0,97	-1,03
Terraço (Parede Oeste)	Porta Zona Técnica-Terraço	9,10	-0,66	-1,08	-1,03	0,27	-0,51	-0,61	-0,92	-1,02
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 1	11,77	-0,79	-1,12	-0,93	-0,50	0,02	-0,71	-1,20	-1,12
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 2	11,77	-0,74	-1,11	-1,12	-0,73	-0,27	-0,26	-1,13	-1,06
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 3	11,77	-0,72	-1,10	-1,15	-0,89	-0,31	-0,25	-1,10	-0,94

4. AVALIAÇÃO AERODINÂMICA

Tabela 4.2 – Ensaio Urbanizado: coeficientes de pressão médios em cada abertura para as oito direções do vento.

ENSAIO URBANIZADO			$c_{p,m}(\theta_v)$							
Localização	Abertura	cota z [m]	norte $\theta_v = 0^\circ$	nordeste $\theta_v = 45^\circ$	este $\theta_v = 90^\circ$	sudeste $\theta_v = 135^\circ$	sul $\theta_v = 180^\circ$	sudoeste $\theta_v = 225^\circ$	oeste $\theta_v = 270^\circ$	noroeste $\theta_v = 315^\circ$
Fachada Norte	Janela Lab, Química 1	5,95	0,12	0,77	-0,90	-0,70	-0,56	-0,88	-1,14	-0,34
Fachada Norte	Janela Lab, Química 2	5,95	0,26	0,44	-0,78	-0,72	-0,57	-0,86	-1,50	-0,03
Fachada Norte	Janela Sala Refeições	5,95	-0,11	-0,22	-0,75	-0,76	-0,60	-0,81	-1,52	0,01
Fachada Norte	Janela Auditório 1	9,93	0,49	0,74	-0,93	-0,69	-0,57	-0,88	-1,07	0,00
Fachada Norte	Janela Auditório 2	9,93	0,48	0,40	-0,80	-0,71	-0,58	-0,85	-1,49	0,10
Fachada Norte	Janela Copa	9,93	0,31	-0,09	-0,77	-0,75	-0,60	-0,82	-1,61	0,09
Fachada Este	Porta de Saída de Emergência	1,10	-0,47	-0,59	-0,78	0,08	-0,71	-1,48	-0,66	-0,65
Fachada Este	Porta de Entrada Este	1,50	-0,64	-0,09	-0,72	-0,05	-0,46	-0,89	-0,72	-1,02
Fachada Este	Porta de Entrada Loja	1,50	-0,83	-0,03	-0,71	-0,13	-0,46	-0,77	-0,74	-1,17
Fachada Este	Janela Loja	1,50	-1,10	-0,01	-0,71	-0,29	-0,48	-0,75	-0,76	-1,29
Fachada Sul	Portão Sul 1	1,50	-0,49	-0,90	-0,70	-0,25	-0,02	0,44	-1,21	-0,72
Fachada Sul	Portão Sul 2	1,50	-0,48	-1,04	-0,78	0,13	0,13	0,27	-1,00	-0,74
Fachada Sul	Portão Sul 3	1,50	-0,47	-1,08	-1,04	0,33	0,12	-0,07	-0,82	-0,75
Fachada Sul	Janela Portão Sul 1	2,04	-0,50	-0,90	-0,69	-0,28	-0,04	0,42	-1,24	-0,72
Fachada Sul	Janela Portão Sul 2	2,04	-0,48	-1,06	-0,76	0,11	0,12	0,27	-1,02	-0,74
Fachada Sul	Janela Portão Sul 3	2,04	-0,47	-1,09	-1,03	0,30	0,09	-0,08	-0,82	-0,76
Fachada Sul	Janela Gabinete 2	5,95	-0,52	-1,05	-0,70	-0,35	-0,26	0,32	-1,32	-0,72
Fachada Sul	Janela Gabinete 1	5,95	-0,50	-1,14	-0,75	-0,07	-0,13	0,14	-1,06	-0,75
Fachada Sul	Janela Lab, Máquinas	5,95	-0,49	-1,13	-0,95	0,09	-0,14	-0,16	-0,69	-0,77
Fachada Oeste	Porta de Entrada Oeste	1,50	-0,57	-0,91	-0,75	-0,89	-0,56	-0,14	0,46	0,06
Fachada Oeste	Janela Gabinete 4	5,95	-0,50	-0,95	-0,72	-1,05	-0,58	-0,04	0,43	-0,03
Fachada Oeste	Janela Gabinete 3	5,95	-0,48	-0,97	-0,71	-1,06	-0,59	0,02	0,29	-0,12
Terraço (Parede Norte)	Porta Acesso Terraço Técnico	9,10	-0,68	-1,02	-0,62	0,10	-0,26	-0,39	-1,14	-1,08
Terraço (Parede Oeste)	Porta Zona Técnica-Terraço	9,10	-0,69	-0,93	-0,52	0,26	-0,24	-0,85	-1,06	-1,06
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 1	11,77	-0,74	-1,31	-0,85	-0,50	-0,25	-0,53	-1,47	-1,14
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 2	11,77	-0,74	-1,26	-0,88	-0,56	0,04	-0,11	-1,30	-1,06
Vão Central (Topo)	Janela Vão Central 3	11,77	-0,77	-1,25	-1,07	-0,64	0,01	-0,23	-1,17	-0,86

4.3.2. Coeficientes de Descarga e Infiltração

Nesta secção apresentam-se as características aerodinâmicas de todos os vãos envidraçados e opacos presentes quer no interior quer no exterior do edifício, assim como os seus pressupostos. Como referido na secção 4.1 as aberturas são caracterizadas por três elementos: (i) a sua área útil para ventilação; (ii) o seu coeficiente de descarga, c_d ; (iii) o seu coeficiente de caudal de infiltração. A área útil de cada janela não é equivalente à área do vão, existe a necessidade de considerar partes não móveis, como tal a área de cada vão foi descontado $\frac{1}{2}$ da área de caixilho.

As janelas que permitem a admissão ou extração de ar das várias divisões são do tipo projetante, no caso dos vãos exteriores, e oscilante, no caso dos vãos interiores. De acordo com Yang *et al.* [19] o seu c_d varia com o seu ângulo de abertura (β_{ab}), que é dado pela expressão (4.7). Como tal, de forma a minimizar o desvio do c_d estimado por regressão linear pelo *Airflow Network* face à relação obtida por Yang *et al.* [19], para outros níveis de abertura dos vãos, foi definido um c_d adicional que contempla a meia abertura.

$$c_d(\beta_{ab}) = 0,0256 \cdot \beta_{ab}^{0,7432}, \quad \beta_{ab} \in [0^\circ, 90^\circ] \quad (4.7)$$

As grelhas de ventilação que servem de abertura permanente das divisões para as zonas de circulação, são do tipo “extração” (lâminas fixas a 45° , FH), têm uma dimensão de $300\text{mm} \times 100\text{mm}$ e apresentam uma área efetiva (A_{ef}) de $0,0121\text{m}^2$ [28]. As paredes interiores apresentam uma espessura entre os 15cm e os 20cm, sendo necessário instalar duas grelhas deste tipo em série por cada espaço a ventilar. Atendendo a que a área efetiva de uma abertura é dada pelo produto da área da mesma pelo coeficiente de descarga correspondente, o coeficiente de descarga equivalente ($c_{d\,eq}$) para o sistema de duas grelhas é dado pela expressão (4.8) e toma o valor de 0,29. De forma a simplificar o modelo de simulação no *EnergyPlus®*, as portas das divisões, que terão ventilação natural, foram simuladas de forma a equivalerem às grelhas, apresentando uma fração de área aberta equivalente à área destas.

$$c_{d\,eq} = A_{eq}^{-1} \cdot \sqrt{[(c_{d1} \cdot A_1)^{-2} + (c_{d2} \cdot A_2)^{-2}]^{-1}} \quad (4.8)$$

Para a determinação do coeficiente de caudal de infiltração (c_q) referente a cada abertura, considerou-se que todos os vãos exteriores pertencem à classe 4 e os vãos interiores⁽²⁴⁾ pertencem à classe 2 da norma EN 12207:2000 [23]. A cada classe é associado um coeficiente de caudal de infiltração à diferença de pressão de referência de 100Pa (c_{100}). Este pode ser expresso em $[\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2]$ para a classificação baseada na área global do vão ou expresso em $[\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}]$ para a classificação baseada no comprimento linear de junta de abertura [23]. O *Airflow Network* simula os caudais de infiltração criando a abertura de quatro orifícios nos vértices dos vãos, que são modelados pela aplicação da equação (4.6), no entanto expressa em caudal mássico por metro linear de junta de abertura [24]. Portanto, os valores de c_q a introduzir no modelo de simulação devem ser expressos em $[\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^n]$.

Como tal, atendendo aos valores de c_{100} referentes à classificação baseada no comprimento linear de junta de abertura presentes na norma EN 12207:2000, sabendo que esta considera um expoente de diferença de pressão (n) com o valor de $2/3$, e a massa volúmica do ar para a atmosfera padrão à altura do nível médio do mar ($1,225\text{kg}/\text{m}^3$ [21]), os valores de c_q para cada vão expressos em $[\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^n]$ foram obtidos de acordo com a expressão (4.9).

$$c_q = c_{100} \cdot \rho_{ref} \cdot (100)^{-2/3} \cdot 3600^{-1} \quad (4.9)$$

Na Tabela 4.3 e a Tabela 4.4 encontram-se as características aerodinâmicas para cada abertura atendendo ao mencionado anteriormente.

⁽²⁴⁾ Excecionalmente os elementos fixos dos vãos envidraçados pertencem à classe 4, assim como, os vãos opacos que separam a Sala das Baterias e Inversores das divisões contíguas.

4. AVALIAÇÃO AERODINÂMICA

Tabela 4.3 – Características aerodinâmicas dos vãos envidraçados.

Localização	Abertura	Tipo	$A_{ab,u}$ [m ²]	$\beta_{ab,max}$ [°]	$c_d(\beta_{ab} \cdot f_{ab})$ $f_{ab} \quad f_{ab}$ 0,5 1		Classe	c_{100} [m ³ /h·m]	c_q [kg/s·m·Pa ⁿ]
-------------	----------	------	---------------------------------	-------------------------	---	--	--------	------------------------------------	------------------------------------

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES

Vão Central	Janela 1 e 3	P	5,9	60,0	0,32	0,54	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Vão Central	Janela 2	P	7,0	60,0	0,32	0,54	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Auditório	Janela 1 e 2	P	10,0	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Copa	Janela	P	2,4	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Lab. Química e Microbiologia	Janela 1 e 2	P	10,1	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Sala Refeições	Janela	P	2,5	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Lab. Máquinas Elétricas	Janela	P	12,1	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Gabinete 1	Janela	P	12,1	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Gabinete 2	Janela	P	12,1	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Gabinete 3	Janela	P	5,8	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Gabinete 4	Janela	P	8,2	20,0	0,14	0,24	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Loja	Janela	P	7,2	10,0	0,08	0,14	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Armazém	Janela 1, 2 e 3	P	4,5	80,0	0,40	0,66	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$

VÃOS ENVIDRAÇADOS INTERIORES

Auditório	Janela 1 e 2	O	9,4	15,0	0,11	0,19	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Lab. Química	Janela 1 e 2	O	12,7	15,0	0,11	0,19	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Lab. Máquinas	Porta	B	4,4	-	-	-	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Lab. Máquinas	Janela 2	O	1,3	15,0	0,11	0,19	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Lab. Máquinas	Janela 1 e 3	F	4,6	-	-	-	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Sala Reuniões	Porta	B	4,4	-	-	-	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Sala Reunião	Janela 2	O	1,3	15,0	0,11	0,19	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Sala Reunião	Janela 1 e 3	F	4,6	-	-	-	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Gabinete 4	Janela 1	F	10,2	-	-	-	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Loja	Porta	B	4,4	-	-	-	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$
Loja	Janela 1	F	12,5	-	-	-	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Loja	Janela 2 e 4	F	3,6	-	-	-	4	0,75	$1,18 \times 10^{-5}$
Loja	Janela 3	O	1,3	15,0	0,11	0,19	2	6,75	$1,07 \times 10^{-4}$

NOMENCLATURA: $A_{ab,u}$: área de abertura útil; $\beta_{ab,max}$: ângulo de abertura máximo da janela; f_{ab} : fração de abertura; P: projetante; B: batente; O: oscilante; F: fixa.

Tabela 4.4 – Características aerodinâmicas dos vãos opacos.

Localização	Abertura	Tipo	$A_{ab,u}$ [m ²]	$A_{ab,eq}$ [m ²]	$f_{A_{ab,u}}$ ×10 ⁻³	c_d	Classe	c_{100} [m ³ /h·m]	c_q [kg/s·m·Pa ⁿ]
-------------	----------	------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------	--------	------------------------------------	------------------------------------

VÃOS OPACOS EXTERIORES

Auditório	Porta	B	9,0	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Corredor Piso 0	Porta Este e Oeste	B	9,0	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Escadas Este 1	Porta	B	2,2	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Armazém	Portão Sul 1, 2 e 3	O	18,3	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Corredor Piso 2	Porta	B	3,1	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Zona Técnica Piso 2	Porta	B	3,3	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵

VÃOS OPACOS INTERIORES

Auditório	Porta	B	3,3	0,03	0,91	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Copa	Porta	B	3,3	0,03	0,91	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Lab. Química e Microbiologia	Porta	B	3,3	0,03	0,91	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Sala Refeições	Porta	B	3,3	0,03	0,91	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Armazém	Porta	B	4,4	0,03	0,68	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Sala de Baterias e Inversores	Porta 1 e 2	B	4,4	-	-	-	4	0,75	1,18×10 ⁻⁵
Gabinete 1	Porta	B	2,6	0,03	1,14	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Gabinete 2	Porta	B	3,1	0,03	0,97	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Arquivo	Porta	B	1,8	0,03	1,70	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Gabinete 3	Porta	B	2,6	0,03	1,14	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Zona Técnica Piso 1	Porta	B	2,2	0,03	1,36	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴
Instalações Sanitárias	Porta	B	1,8	0,03	1,70	0,29	2	6,75	1,07×10 ⁻⁴

NOMENCLATURA: $A_{ab,u}$: área de abertura útil; $A_{ab,eq}$: área de abertura equivalente; $f_{A_{ab,u}}$: fração de abertura útil; P: projetante; B: batente; O: oscilante; F: fixa.

5. Simulação Dinâmica

Um edifício *per si* poderá ser encarado como um conjunto de sistemas construtivos (paredes, lajes de pavimento, cobertura, janelas e portas) que permitem proporcionar um volume de ar protegido das condições do ambiente exterior aos seus utilizadores. As condições de conforto visual e térmico proporcionadas no interior de cada divisão do edifício implicam naturalmente um consumo de energia no âmbito da iluminação artificial, da climatização e da ventilação. A utilização da luz solar para iluminação e da ventilação natural para a remoção da carga térmica e poluentes presentes no ar, estão condicionadas à geometria do edifício e à sua envolvente, assim como, às condições do clima local.

Avaliar o impacto em termos do consumo de energia de um edifício requer estimar todos os fluxos de energia relevantes que descrevem o seu comportamento térmico e a sua operação. Isto implica definir os elementos físicos que delimitam o volume de ar interior de cada divisão/zona térmica, os sistemas técnicos responsáveis pela climatização, ventilação e iluminação, e ainda o perfil de ocupação e de utilização de equipamentos. A criação de um modelo que descreve o funcionamento de um edifício é de alguma complexidade, especialmente pelos fenómenos de transferência de calor terem um carácter transiente. Estes são descritos por equações diferenciais e estão associados ao efeito de inércia térmica do ar e dos materiais que constituem a envolvente da divisão.

O *EnergyPlus®* trata-se de um *software* que permite a simulação dinâmica de um edifício, atendendo aos princípios base da transferência de calor, para a obtenção do perfil de consumo de energia [20]. Este possibilita uma avaliação detalhada do edifício através dos vários módulos de sistemas técnicos (climatização, ventilação mecânica e natural, iluminação artificial, produção e distribuição de energia, entre outros), da facilidade da recriação geométrica do edifício e dos obstáculos da vizinhança, e de possibilitar definir com rigor os materiais que constituem a envolvente térmica [20].

5.1. Definição dos Ganhos Internos

Na criação de um modelo de simulação de um edifício um dos pré-requisitos é saber quais os ganhos internos e de que forma estes variam ao longo do tempo. Na generalidade dos edifícios de serviços os ganhos internos têm como origem os sistemas de iluminação artificial, os equipamentos (computadores, monitores, videoprojectores, pequenos eletrodomésticos, equipamentos de laboratório, entre outros) e os ocupantes.

O edifício ESNE está em projeto, não existindo dados *a priori* que caracterizem a sua utilização, como tal e de acordo com as recomendações do requerente do projeto foram definidos os perfis de carga para o sistema de iluminação e os equipamentos, e o perfil de ocupação para as divisões com utilização regular (Figura 5.1 a Figura 5.3). Estas divisões tratam-se da loja, do armazém, dos laboratórios e gabinetes de apoio, da sala de reuniões, da sala de refeições, do auditório e das zonas de circulação e escadas de emergência. Para as restantes divisões presentes no edifício não foi considerado qualquer ganho interno dado ao seu carácter de utilização pontual e por não apresentar qualquer relevância no impacto do comportamento térmico do edifício. Contudo, no caso da sala das baterias e inversores foi considerada a dissipação de calor pelos inversores aí a serem instalados, que correspondeu a 5% da potência elétrica total fornecida ao edifício⁽²⁵⁾.

Os três pisos têm valências distintas tendo horários de utilização também distintos. O piso térreo que é dedicado à atividade comercial está ocupado de segunda-feira a sexta-feira das 9h às 19h, com pausa para almoço entre as 13h e as 15h, e ao sábado das 9h às 13h. O piso 1, onde se encontram os laboratórios, gabinetes e salas de apoio, é ocupado das 8h às 18h de segunda-feira a sexta-feira não existindo um período não ocupado na hora de almoço visto que este dispõe de sala de refeições. Os laboratórios e as

⁽²⁵⁾ No cenário de consumo para o edifício de referência (ver secção 5.4.) não foi considerando qualquer dissipação de calor.

divisões de apoio não são ocupados ao fim-de-semana. O auditório, que se encontra no piso 2, é utilizado unicamente ao sábado para atividades de formação que decorrem das 9h às 18h, com pausa para almoço das 12h às 14h. O edifício encerra aos domingos e feriados. A ocupação nominal considerada em cada divisão consta no Projeto de Ventilação Mecânica, sendo corrigida pelos perfis de ocupação definidos. Dado à maior parte das atividades desenvolvidas no interior do edifício serem do tipo sedentário, considerou-se que o valor taxa de atividade metabólica por pessoa é de 120W [24].

Os perfis de carga do sistema de iluminação refletem a disponibilidade do sistema quando as divisões estão ocupadas, sendo que a potência nominal de luminárias instalada em cada divisão para além de ser corrigida pelo respetivo perfil de carga é também corrigido atendendo à disponibilidade da luz natural para as divisões com vãos envidraçados. Ou seja, a potência da luminária é corrigida atendendo ao valor da iluminância de referência e ao valor de iluminância proporcionado pela luz natural, considerando uma relação linear entre a potência elétrica consumida pela luminária e a iluminância mantida. Os valores de iluminância de referência e de potência nominal das luminárias considerados constam no Projeto de Iluminação. O sistema de iluminação foi simulado no *EnergyPlus®* com recurso ao objeto *Lights* onde as frações de calor transmitido na forma do visível, de radiação e de convecção foram definidas de acordo com a Tabela 1.23 de [24] para os vários tipos de luminárias, e ao objeto *Daylighting: Controls* que considerou como ponto de referência o centro geométrico de cada divisão e um plano de uso de 0,8m.

De forma a contemplar o consumo de energia pelo sistema de iluminação nas divisões de ocupação pontual, considerou-se que este está ativo em arquivos e zonas técnicas durante 0,5h/semana, nos arrumos do auditório durante 1h/semana, nos arrumos dos laboratórios 2h/semana, na sala de baterias e inversores durante 4h/semana e nas instalações sanitárias 10h/semana.

Os perfis de carga dos laboratórios foram baseados em medições realizadas no edifício C8, piso 2, secção D, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa no âmbito do Projeto de «Eficiência em Ciências» [29]. A inventariação dos equipamentos presentes no Laboratório de Química e Microbiologia foi realizada através de uma visita técnica ao laboratório homólogo da Escola Superior de Agronomia do Instituto Politécnico de Beja. Para as restantes divisões foram assumidos os equipamentos recomendados pelo requerente do projeto. A potência nominal de equipamentos instalados em cada divisão encontra-se na Tabela C.1.

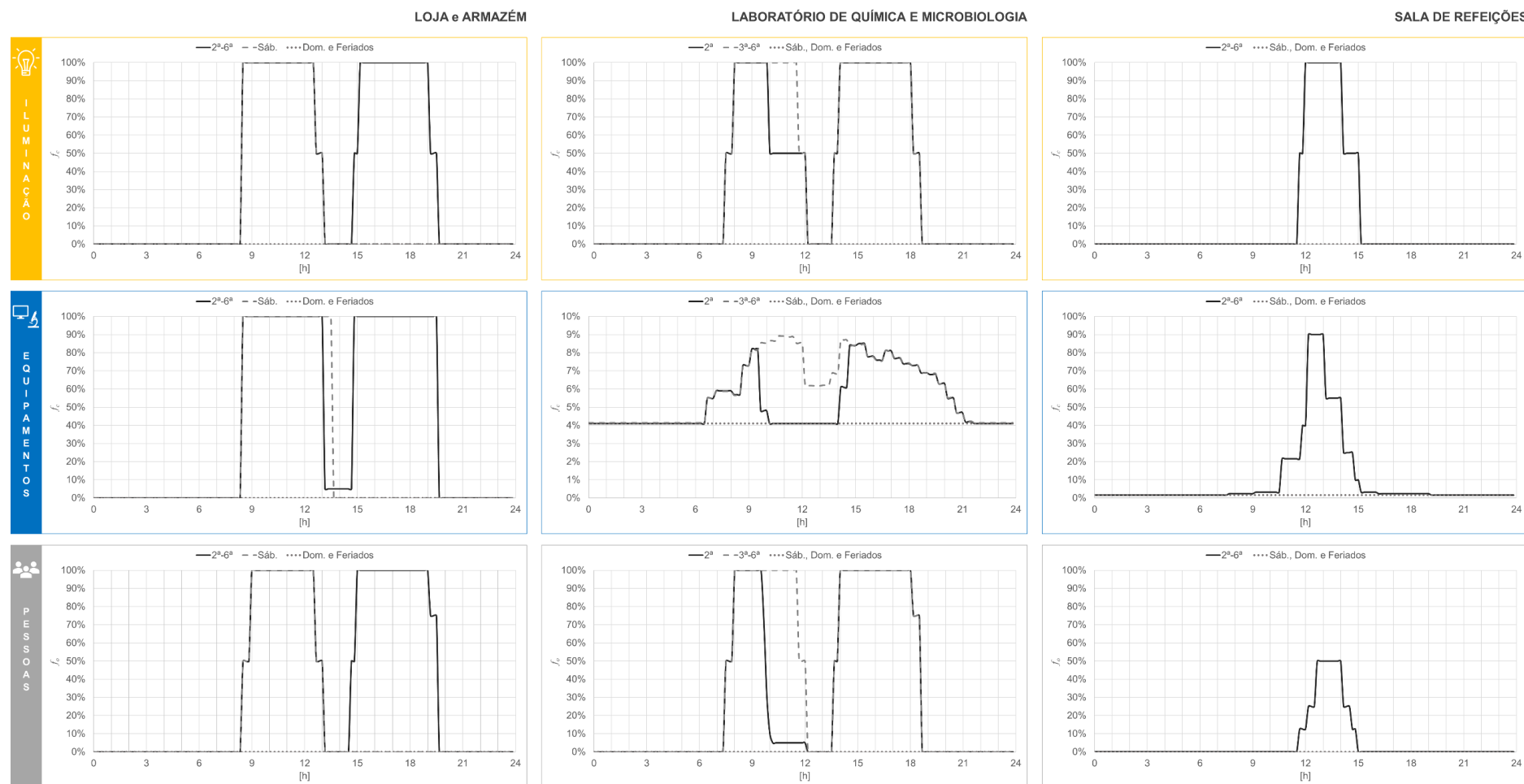


Figura 5.1 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para a loja, o armazém, o laboratório de química e microbiologia e a sala de refeições.

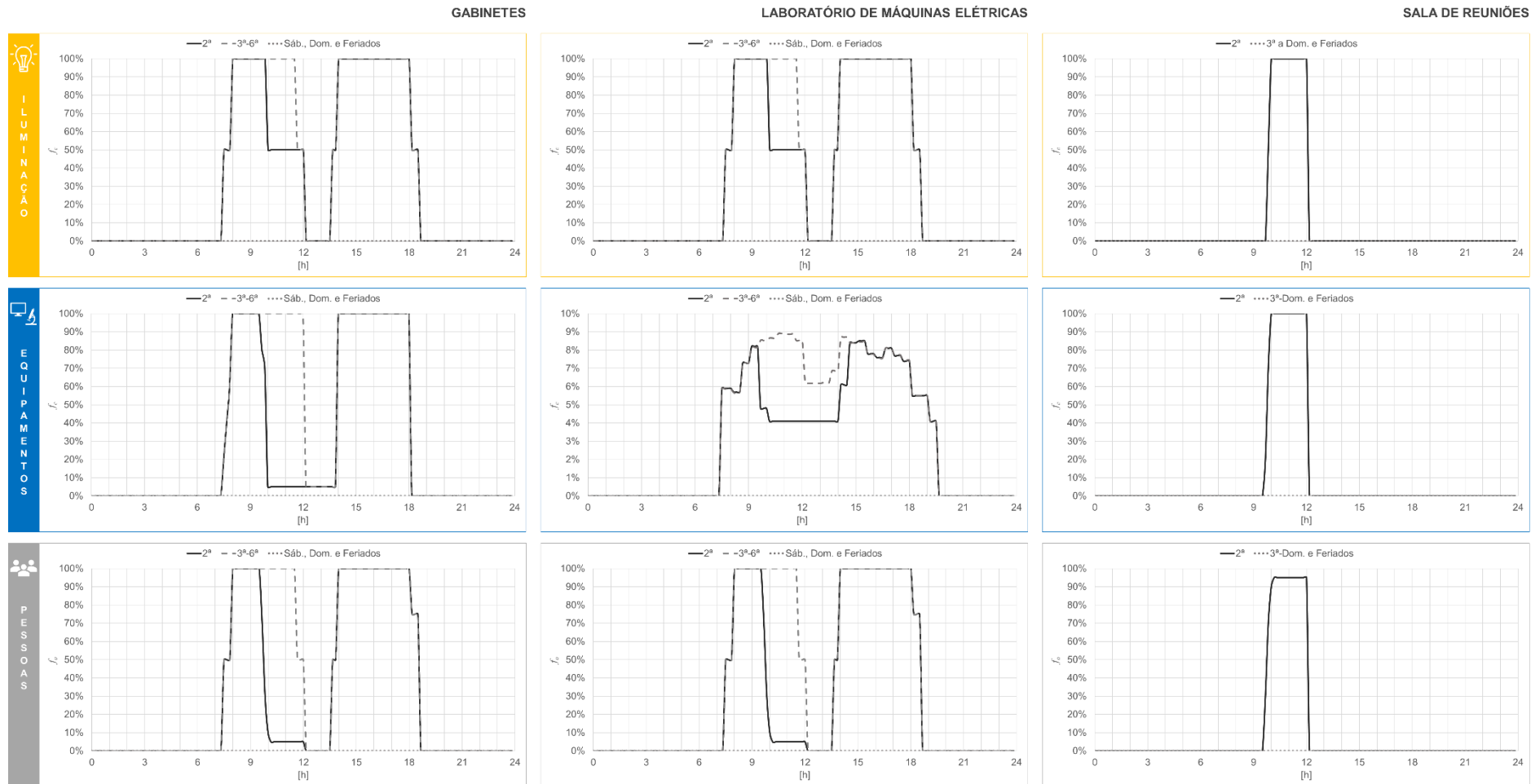


Figura 5.2 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para os gabinetes, o laboratório de máquinas elétrica e a sala de reuniões.

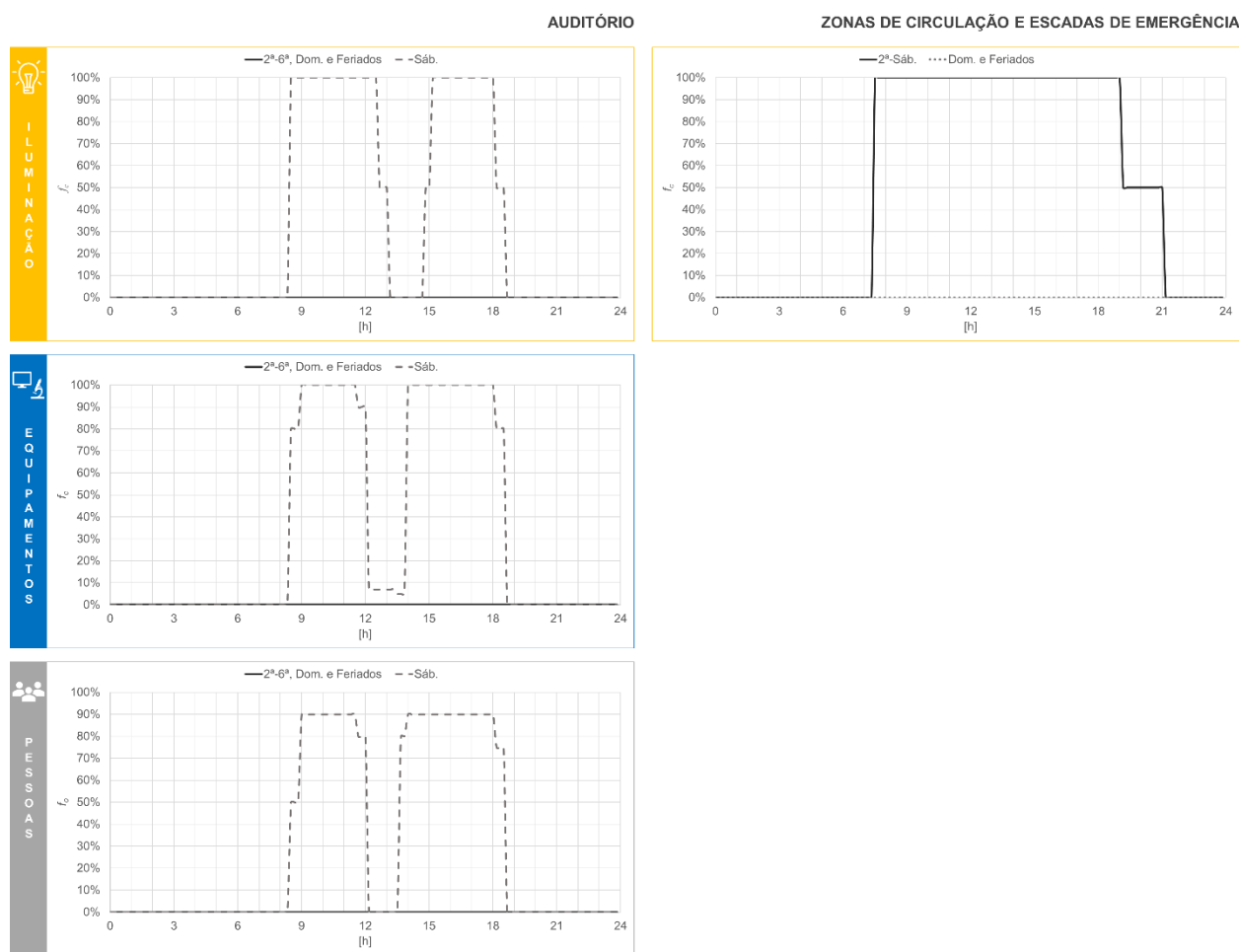


Figura 5.3 – Perfil de utilização dos sistemas de iluminação e de equipamentos, e perfil de ocupação para o auditório e as zonas de circulação e escadas de emergência.

5.2. Modelo de Simulação do Edifício

5.2.1. Zonas Térmicas

Uma zona térmica define-se por um volume de controlo que poderá ser constituído por um único espaço ou por um conjunto de espaços com condições de insolação e de utilização semelhantes. No *EnergyPlus®* o modelo geométrico contempla unicamente esse volume de controlo, possibilitando a existência de um incremento do volume de ar a simular por não ser possível considerar a espessura das superfícies. Adicionalmente, o volume de controlo não deve apresentar superfícies não-convexas para que seja possível simular a distribuição da luz solar no interior dos espaços, caso contrário, este deverá ser dividido de modo a que todos os volumes subsequentes apresentem formas geométricas regulares.

O modelo geométrico do edifício ESNE no *EnergyPlus®* é composto ao todo por 71 zonas térmicas, que foram definidas considerando que: (i) cada divisão climatizada corresponderia a uma única zona térmica; (ii) os espaços não climatizados deveriam ser agrupados de modo a formarem, quando possível, uma única zona térmica; (iii) o teto falso de cada divisão/espaço tratar-se-ia de uma zona térmica; (iv) todas as zonas térmicas deveriam ser volumes convexas; (v) e que o erro associado à reprodução geométrica de divisões climatizadas deveria ser, quando possível, inferior ou igual a 5%. A Figura 5.4 apresenta em planta a definição das zonas térmicas, e a Figura 5.5 reprodução dos volumes de controlo e da envolvente exterior no *EnergyPlus®* com recurso ao *Skechup Make®* e à extensão *Euclid* do *Big Ladder Software*.

O erro associado à reprodução de cada divisão/espaço no *EnergyPlus®* encontra-se na Tabela 5.1, verificando-se que somente 2 divisões de 14 divisões climatizadas apresentam um erro superior 5%, mas não superior a 8%. Já para os espaços não climatizados só se verifica um erro superior a 10% para os que

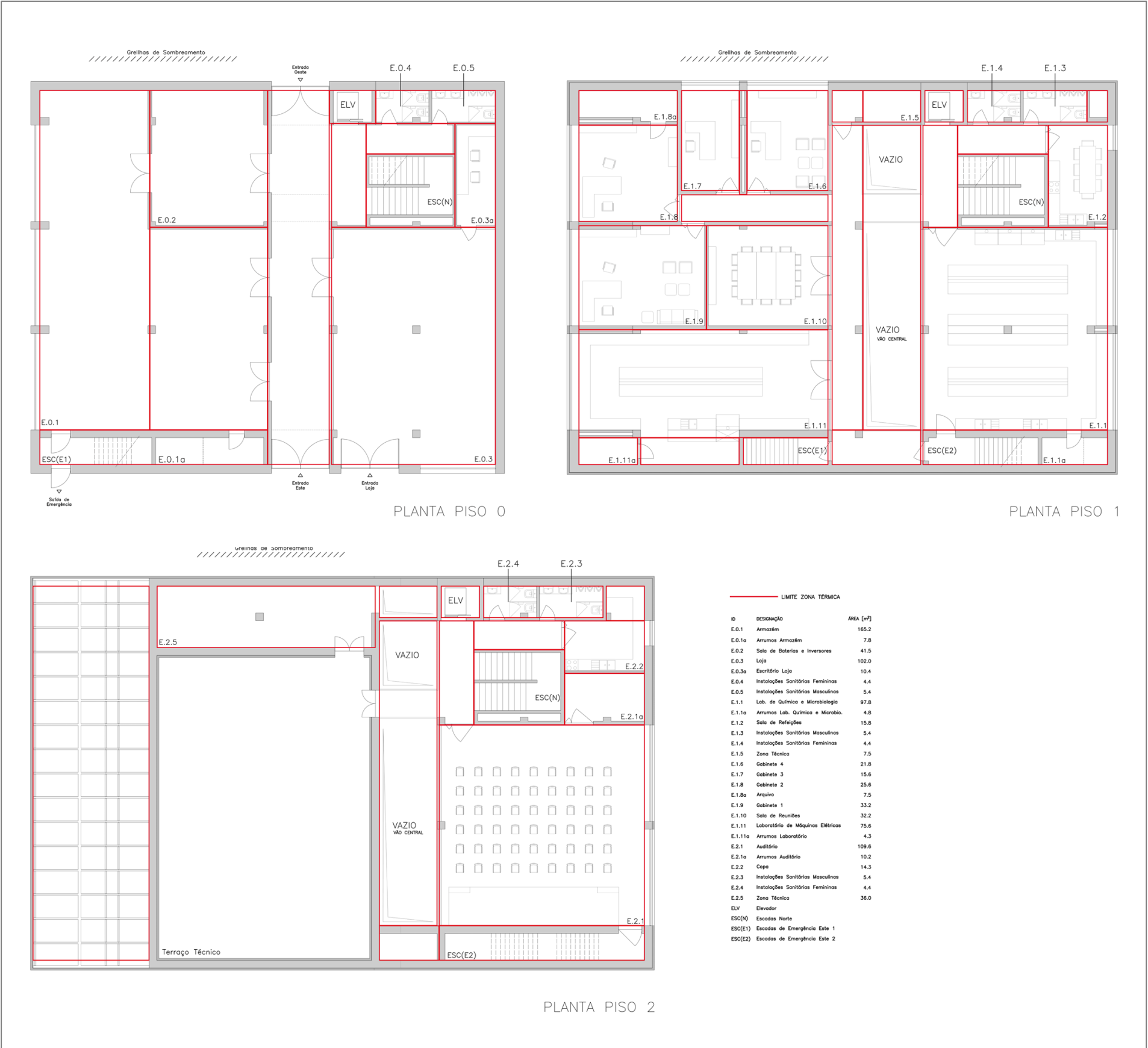


Figura 5.4 – Identificação em planta das zonas térmicas consideradas no modelo do EnergyPlus ® (imagem sem escala).

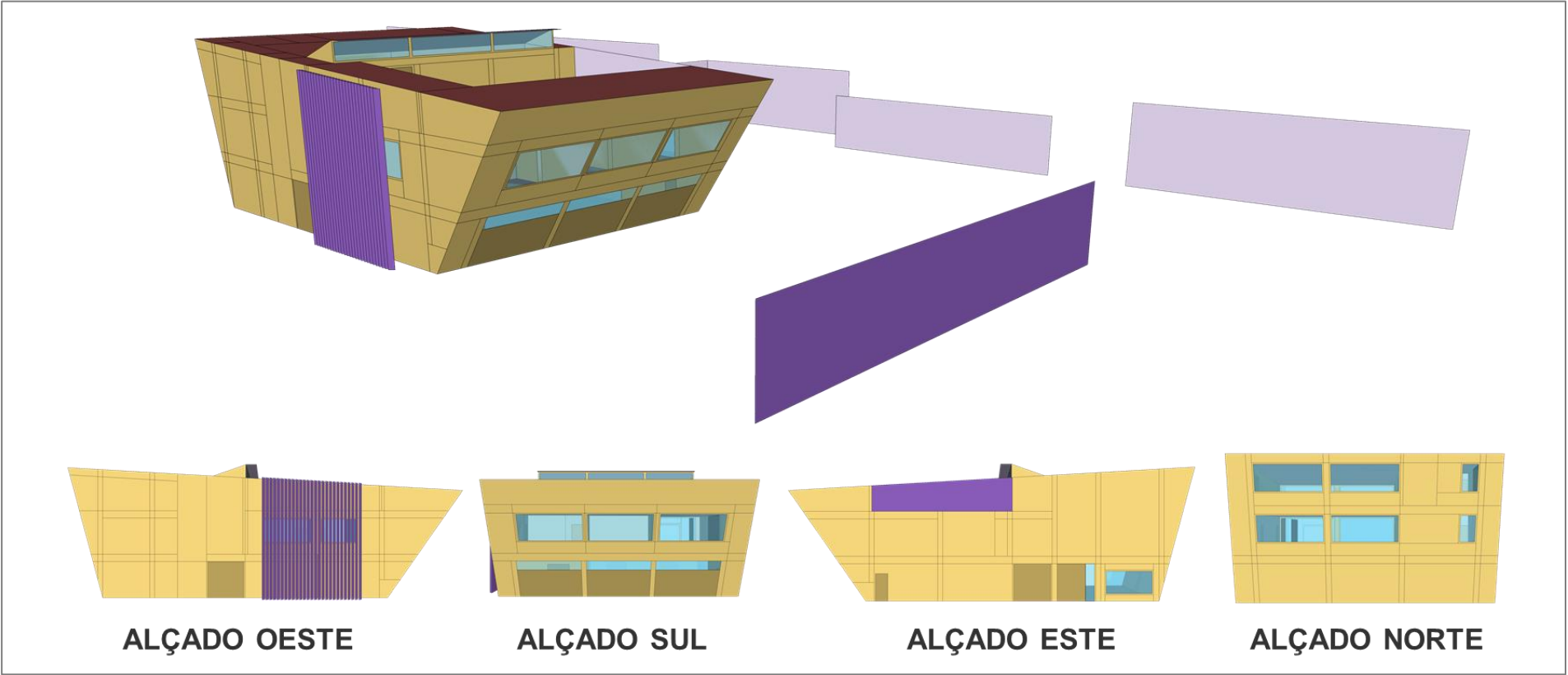


Figura 5.5 – Vista exterior do modelo geométrico do edifício ESNE introduzido no EnergyPlus ® com recurso ao Sketchup Make ® e à extensão Euclid do Big Ladder Software.

5. SIMULAÇÃO DINÂMICA

Tabela 5.1 – Correspondência entre as divisões/espacos e as zonas térmicas criadas no modelo geométrico do EnergyPlus ®.

ID	Designação	Área Real [m²]	Volume Real [m³]	Designação no Modelo	Área Modelo [m²]	Volume Modelo [m³]	Volume de Elementos Estruturais e Não-estruturais [m³]	Volume Modelo Final [m³]	Erro Absoluto [%]
E.0.1	Armazém	165,2	669,2	Armazém	167,4	695,1	7,6	687,5	2,7%
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	41,5	149,3	Sala de Baterias e Inversores	42,0	151,2	0,0	151,2	1,2%
E.0.3	Loja	102,0	319,7	Loja	104,9	329,5	1,0	328,5	2,8%
E.0.3a	Escritório Loja	10,4	37,25	Escritório Loja	11,1	40,0	0,0	40,0	7,4%
E.0.4	Instalações Sanitárias Femininas	4,4	13,2	Instalações Sanitárias Piso 0	10,2	32,7	0,7	31,9	1,2%
E.0.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5,4	18,4						
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97,8	305,1	Lab. de Química e Microbiologia	99,5	311,0	2,2	308,7	1,2%
E.1.2	Sala Refeições	15,8	53,1	Sala Refeições	16,5	56,1	0,0	56,1	5,6%
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5,4	16,3	Instalações Sanitárias Piso 1	10,2	30,7	0,7	29,9	1,4%
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4,4	13,2						
E.1.5	Zona Técnica	7,5	30,0	Zona Técnica 1	7,6	27,4	0,0	27,4	8,6%
E.1.6	Gabinete 4	21,8	65,5	Gabinete 4	21,8	65,5	0,0	65,5	0,0%
E.1.7	Gabinete 3	15,6	46,8	Gabinete 3	16,2	48,7	0,0	48,7	4,0%
E.1.8	Gabinete 2	25,6	92,4	Gabinete 2	26,6	96,1	0,0	96,1	4,0%
E.1.8a	Arquivo	7,5	27,0	Arquivo	10,2	37,0	0,0	37,0	36,7%
E.1.9	Gabinete1	33,2	115,4	Gabinete1	34,4	119,5	0,0	119,5	3,6%
E.1.10	Sala de Reuniões	32,2	96,5	Sala de Reuniões	32,8	98,3	0,0	98,3	1,9%
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75,6	246,9	Laboratório de Máquinas Elétricas	79,5	256,0	0,0	256,0	3,7%
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	4,3	17,2	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	4,5	17,9	0,0	17,9	3,7%
E.2.1	Auditório	109,6	305,5	Auditório	109,5	297,6	0,0	297,6	2,6%
E.2.1a	Arrumos Auditório	10,2	31,6	Arrumos Auditório	10,2	31,6	0,0	31,6	0,1%
E.2.2	Copa	14,3	45,8	Copa	14,8	46,8	0,0	46,8	2,4%
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5,4	14,9	Instalações Sanitárias Piso 2	10,2	26,8	0,7	26,2	0,6%
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4,4	11,4						
E.2.5	Zona Técnica	36,0	97,5	Zona Técnica 2	36,2	101,5	0,4	101,1	3,7%
ZCIR.0	Zona de Circulação Central	74,8	267,5	Corredor Central	62,1	223,5	0,0	223,5	4,1%
ZCIR.1	Zona de Acesso 1	64,8	367.6	Corredor Norte Piso 0	18,3	54,9	0,0	54,9	
				Corredor Sul 1	15,6	46,8	0,0	46,8	2,3%
				Corredor Sul 2	25,0	75,0	1,4	73,5	
				Corredor Sul 3	5,8	17,3	0,0	17,3	
				Vão Central	-	183,7	0,0	183,7	
				Corredor Norte Piso 1	18,3	54,9	0,0	54,9	0,7%
ZCIR.2	Zona de Acesso 2	20,8	223.0	Corredor Norte Piso 2	18,3	44,6	0,0	44,6	
				Vão Central	-	176,7	0,0	176,7	
ELV	Elevador	3,3	36.0	Elevador	4,0	40,3	0,0	40,3	11,9%
ESC(N)	Escadas Norte	26,0	143.0	Escadas Norte	18,3	178,7	13,8	164,9	15,4%
E.0.1a	Arrumos Armazém	7,8	24.7	Escadas Este 1	16,5	89,0	4,0	85,1	4,4%
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14,2	56.8						
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbiologia	4,8	16.7	Escadas Este 2	17,2	129,0	4,3	124,6	26,6%
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14,5	81.8						
PISO1	ENU Norte	1,3	7.1	ENU Norte	1,6	8,6	0,0	8,6	20,9%
PISO2	ENU Este	4,2	11.6	ENU Este	5,8	16,2	0,0	16,2	39,9%
PISO2	ENU Sul	121,5	238.3	ENU Sul	107,3	224,5	0,0	224,5	5,8%
TOTAL		1 213,5	4 313,2	-	1 210,3	4 480,7	36,8	4 443,9	3,0%

são classificados como escadas, arrumos ou zonas técnicas. Isto sucede dado a que estes espaços não apresentam uma carga térmica relevante ou intervêm diretamente no sistema de ventilação natural, tendo-se primado por uma reprodução mais fiel das divisões/espaços com um papel ativo no edifício.

Paralelamente à definição dos volumes de controlo, é definida a constituição das superfícies que fazem parte da envolvente do mesmo. Estas foram definidas atendendo ao exposto no Projeto de Arquitetura (mais precisamente da Figura A.14 à Figura A.20) e às Propriedades Termofísicas e Óticas dos Materiais de Construção que se seguem em anexo. O modelo contempla as pontes planas térmicas criadas pelos elementos estruturais (pilares e vigas), e através do objeto *InternalMass* foi contabilizado a massa de elementos estruturais e não-estruturais presentes no interior de cada zona térmica. As zonas térmicas contíguas no modelo que não se encontram separadas por elementos da construção presentes em planta, são separadas por aberturas virtuais⁽²⁶⁾.

A transferência de calor para as superfícies em contacto com o solo foi modelada recorrendo ao método alternativo enunciado por Mateus *et al.* [30], que utiliza o objeto *Site:GroundTemperatureBuildingSurface* do *EnergyPlus®* e considera a temperatura média mensal do solo a 2m de profundidade em contacto com o pavimento térreo, que deverá apresentar uma espessura total equivalente. Para tal após a camada de estabilização do pavimento térreo foi incluída uma camada adicional de solo com uma espessura de 1,42m (Tabela A.1), de forma a que o pavimento apresentasse uma espessura de 2m. A utilização do método alternativo permite agilizar o tempo de simulação por se evitar o recurso a subprogramas do *EnergyPlus®* mais pesados que modelam a transferência de calor com o solo, como o *Slab* ou o *Basement*. A determinação da temperatura média mensal do solo a 2m recorreu ao modelo de condução de calor num plano semi-infinito com perturbação superficial periódica, estando a metodologia aplicada e os valores obtidos no anexo C.2.

Para além dos sistemas passivos de sombreamento presentes no edifício, serão instalados estores exteriores de alta refletividade de ação automática em todos os vãos envidraçados, que serão ativados quando se verifique uma radiação solar incidente na fachada superior a 300W/m^2 ⁽²⁷⁾ ou uma temperatura interior superior a 24°C . Contudo, este sistema não é aplicável aos vãos envidraçados encastrados em portas e portões, e aos vãos envidraçados do vão central.

O modelo de simulação do edifício ESNE não contempla o consumo de águas quentes sanitárias, visto que a única fonte de consumo no edifício são os laboratórios, em que mais de 90% das suas necessidades são supridas localmente em equipamento próprio já previsto no inventário de fontes de consumo (Tabela C.1), e que os dados presentes na literatura não permitem estimar o consumo de AQS. No entanto, para os possíveis consumos pontuais de AQS foi considerado que serão cobertos por um sistema solar térmico de termossifão acoplado a um sistema de recuperação do calor emitido para o exterior pelas unidades de climatização.

5.2.2. Ventilação Natural

A ventilação natural foi modelada com recurso ao *Airflow Network*, como referido no capítulo anterior, tendo-se introduzido no objeto *WindPressureCoefficientValues* as curvas dos coeficientes de pressão obtidas experimentalmente para cada abertura. Dado ser objeto de estudo o impacto da envolvente urbana no sistema de ventilação natural foram definidos dois modelos do edifício, um onde se utiliza as curvas de c_p obtidas para o Ensaio não Urbanizado (Tabela 4.1) e outro as curvas de c_p obtidas para o Ensaio Urbanizado (Tabela 4.2). Paralelamente foram definidas as características aerodinâmicas (o c_d e o c_q) dos vãos envidraçados e opacos no objeto *DetailedOpening* acordo com a Tabela 4.3 e a Tabela 4.4.

⁽²⁶⁾ Janela ou porta com um $c_d=1$ constituída por uma superfície que apresenta uma resistência térmica e espessura infinitesimal, e uma transmissividade igual a 1.

⁽²⁷⁾ Tabela I.04 do Anexo I da Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro na sua redação atual.

As janelas presentes no edifício são de abertura motorizada regulável e controlada centralmente, que são ativadas quando as condições do ambiente interior são desfavoráveis face às condições no exterior, ou seja, a introdução de ar exterior não poderá permitir que a temperatura na divisão saia do intervalo de conforto⁽²⁸⁾. O método de controlo utilizado no *Airflow Network* foi o “*Temperature*”, em que as janelas e portas são abertas quando se verifica que a temperatura da zona térmica é superior simultaneamente à temperatura de referência, definida pelo utilizador, e à temperatura exterior e se é permitido pelo *Venting Availability Schedule* definido também pelo utilizador [24]. Como tal, foi definido que a temperatura de referência de outubro a abril toma o valor de 23,5°C em período diurno e 24°C em período noturno, enquanto de maio a setembro toma o valor de 21,5°C em período diurno e 20°C em período noturno. O período diurno corresponde ao intervalo horário compreendido entre as 7:30h e as 19:00h (período de ocupação do edifício em dia útil), e o período noturno corresponde ao intervalo horário compreendido entre as 19:00h e as 7:30h do dia seguinte. Associando ao período não ocupado do edifício temperaturas de referência menores permite potenciar a ventilação noturna e preparar as divisões para o dia seguinte.

Já o *Venting Availability Schedule* define se as janelas e portas são modeladas como aberturas ou orifícios [24]. Para os vãos opacos exteriores foi definido que nunca teriam disponibilidade para serem abertos, dado a não participarem ativamente no sistema de ventilação natural. Já a disponibilidade para ventilação dos vãos envidraçados exteriores e interiores foi sempre garantida nas fases de calibração do sistema de ventilação natural e de avaliação do seu desempenho, estando, no entanto, condicionada pelo cenário de consumo do edifício (descrito nas secções seguintes). Contudo, para as restantes aberturas interiores reais e virtuais foi sempre garantida a disponibilidade para ventilação.

O *Airflow Network* está dotado de um sistema de controlo, que para além de verificar se estão garantidas as condições para ventilação, permite modelar o grau de abertura das janelas de forma a reduzir as flutuações da temperatura interior aquando da ventilação dos espaços, atendendo à diferença da temperatura entre o interior e o exterior [24]. Na Figura 5.6 encontra-se esquematizada a modulação do fator de abertura. Foi definido que o valor mínimo do fator de abertura é de 0,5, o valor da diferença de temperatura mínima é de 3°C e da diferença de temperatura máxima é de 5°C, para todas as janelas que comunicam diretamente com as divisões climatizadas. Para as janelas do vão central os valores considerados foram os mesmos excetuando a diferença de temperatura máxima que toma o valor de 6°C.

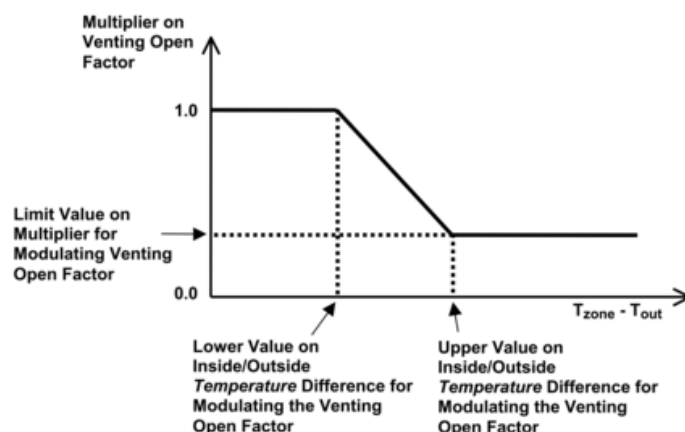


Figura 5.6 – Modulação da área de abertura atendendo à diferença da temperatura entre o interior e o exterior [24].

Os valores definidos para a temperatura de referência e para a modelação do fator de abertura foram obtidos numa pré-calibração do modelo onde foi avaliada a estabilidade da temperatura do ar em todas as divisões considerando que o edifício operava em regime livre⁽²⁹⁾.

⁽²⁸⁾ O intervalo de conforto de acordo com o RECS está compreendido entre os 20°C e os 25°C, inclusive.

⁽²⁹⁾ Regime no qual não existe qualquer ação mecânica para correção da carga térmica ou renovação do ar interior.

5.2.3. Sistemas AVAC

Como já descrito, o edifício terá um sistema AVAC que assegura as condições de conforto térmico quando o sistema de ventilação natural não pode intervir. A ventilação mecânica será assegurada por uma UTAN assistida por Bomba de Calor, sendo que a correção de carga térmica recorre a um sistema de ventiloconvectores alimentados por Unidades VRV. Os dois sistemas são independentes. As Unidades VRV são acionadas somente quando o ar novo climatizado não consegue compensar a perda ou o ganho de carga térmica. O sistema AVAC foi modelado no *EnergyPlus®* com recurso aos objetos *Zone VRF*, *System VRF* e *DedicatedOutdoorAirSystem* (DOAS) da família *HVACTemplate*.

O objeto *Zone VRF* modela os ventiloconvectores presentes em cada divisão, sendo que as características técnicas utilizadas referentes a este tipo de equipamento foram as pré-definidas ou as recomendadas pelo próprio *EnergyPlus®* [24]. Contudo, os caudais de ar novo introduzidos no *Zone VRF* correspondem aos caudais adotados no Projeto de Ventilação Mecânica.

No caso do objeto *System VRF* foi considerado que seriam utilizadas unidades VRV da Daikin® da série RXYQQ-T⁽³⁰⁾, tendo-se introduzido no *EnergyPlus®* os limites de operacionalidade, as características técnicas gerais e o COP nominal médio em modo de arrefecimento (4,11) e de aquecimento (4,65) [31]. Este objeto não considera o valor do COP constante, tendo no seu interior um algoritmo que determina a *performance* real atendendo ao valor nominal da eficiência da máquina e às condições impostas pelo exterior e pela carga térmica a corrigir no interior do edifício [20].

O DOAS modela a UTAN, tendo-se considerado as características técnicas da UTAN e perdas de carga presentes no Projeto de Ventilação Mecânica, e que esta deveria fornecer o ar climatizado com uma temperatura compreendida no intervalo de 22°C e 23,5°C, inclusive. A definição deste segundo intervalo de temperaturas face ao definido no RECS tem como fim potenciar o efeito de correção da carga térmica pela introdução de ar novo e minimizar a utilização do sistema auxiliar.

Os modelos aplicados às unidades VRV permitem a obtenção direta do consumo de energia elétrica, no entanto no caso do DOAS que modela a UTAN existe a necessidade de aplicação de um pós-tratamento para determinar a energia elétrica destinada à climatização e à ventilação. O *output* dado pelo DOAS é a energia térmica, tendo-se convertido para energia elétrica pela definição de um COP dinâmico (expressões (5.1) e (5.2)) de acordo com Martins *et al.* [32], onde o rendimento técnico considerado corresponde ao rendimento técnico real da unidade VRV da Daikin®. O rendimento técnico foi obtido considerando as condições de teste nominais presentes no catálogo técnico, e aplicando-lhe um fator de correção também sugerido por Martins *et al.* [32] que contempla as perdas térmicas nas condutas e o consumo de sistemas auxiliares à unidade VRV. O consumo de energia associado à ventilação mecânica (insuflação e extração) foi obtido pela aplicação da expressão (5.3), onde Δp_{vent} corresponde à perda de carga no sistema em [Pa], \dot{V} ao caudal de insuflação ou extração em [m³/s] e η_v à eficiência do ventilador [—].

$$COP_{aq} = \eta_t \cdot \frac{T_{dist} + 278,15}{(T_{dist} + 5) - (T_{\infty} - 5)} \Big|_{T_{dist}=50^{\circ}\text{C} \wedge \eta_t=0,677} \quad (5.1)$$

$$COP_{arr} = \eta_t \cdot \frac{T_{dist} + 268,15}{(T_{\infty} + 5) - (T_{dist} - 5)} \Big|_{T_{dist}=0^{\circ}\text{C} \wedge \eta_t=0,541} \quad (5.2)$$

$$P_{vent} = \frac{\Delta p_{vent} \cdot \dot{V}}{\eta_v} \quad (5.3)$$

⁽³⁰⁾ Foram considerados apenas os modelos 8T, 10T, 12T e 14T.

5.3. Desempenho do Sistema de Ventilação Natural

O desempenho do Sistema de Ventilação Natural foi determinado considerando que o edifício operava em regime livre, e que não existiria dissipação de calor na Sala das Baterias e Inversores dado a esta divisão ser ventilada e climatizada exclusivamente por via mecânica. O sistema foi avaliado para o cenário urbanizado e não urbanizado em três componentes: (i) Conforto Térmico; (ii) Cumprimento do Limiar de Proteção de CO₂; e (iii) Caudal Mínimo de Ar Novo.

O Conforto Térmico foi avaliado determinando a percentagem do número de horas do período de ocupação em que a temperatura das divisões se encontrava dentro do intervalo de conforto definido no RECS (20°C-25°C), sendo paralelamente determinada a percentagem do número de horas do período de ocupação em que ocorria desconforto térmico por sobrearrefecimento e sobreaquecimento.

O cumprimento do Limiar de Proteção de CO₂ foi avaliado atendendo ao Método Analítico presente na Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro, que considera que a concentração de CO₂ no exterior é de 390ppm, que a taxa de geração de CO₂ em função da atividade metabólica dos ocupantes é de $3,82 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{W}$, e que o limiar de proteção de CO₂ é ultrapassado quando a concentração deste atinge valores superiores a 1250ppm. Já no caso do Caudal Mínimo de Ar Novo, foi avaliado se o caudal de ar exterior introduzido nas divisões era igual ou superior ao caudal definido pelo Método Prescritivo (Portaria n.º 353-A/2013) que se encontra determinado para cada divisão no Projeto de Ventilação Mecânica. O sistema de ventilação natural é considerado eficaz quando este permite assegurar, em cada espaço, o caudal mínimo de ar novo ou uma concentração de CO₂ inferior ao limiar de proteção em, pelo menos, 90% das horas, no período de ocupação, do ano⁽³¹⁾.

Na Figura 5.7 e na Figura 5.8 apresentam-se os valores do desempenho do sistema de ventilação natural em termos de conforto térmico e da qualidade do ar, respetivamente. Atendendo à Figura 5.7 verifica-se que o edifício, em regime livre, em termos térmicos comporta-se na sua generalidade de forma aceitável, tendo necessidade pontual de correção da carga térmica. Contudo, o sistema de ventilação natural, de acordo com a Figura 5.8, não é eficaz o suficiente para fornecer ar novo e manter a concentração de CO₂ abaixo do limiar de proteção ou diluir as cargas poluentes presentes no ar interior, sem provocar desconforto térmico. O Laboratório de Química e Microbiologia é uma exceção dado ao seu grande potencial de geração de ganhos internos, que permite a introdução de ar exterior a temperaturas mais baixas. No entanto, no período diurno, no verão, torna-se extremamente desconfortável podendo-se atingir os 30°C sem sistema de climatização.

Conclui-se que o sistema de ventilação natural não poderá ser utilizado no período de ocupação do edifício, devendo ficar reservado para o arrefecimento noturno e ventilação das zonas de circulação.

Os resultados apresentados são referentes unicamente ao meio urbanizado. Não são apresentados os resultados para o meio não urbanizado dado a estes possuírem uma diferença não superior a 1% face aos valores para o meio urbanizado. O facto de os resultados para o meio urbanizado e para o meio não urbanizado serem tão similares, possivelmente, deve-se a que o *Airflow Network* poderá apresentar fragilidades em simular modelos multizonas mais complexos, não se podendo evidenciar qual o impacto de urbanizações na qualidade do sistema de ventilação natural.

⁽³¹⁾ Número 2, do Ponto 1.1.1., do Anexo da Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro.

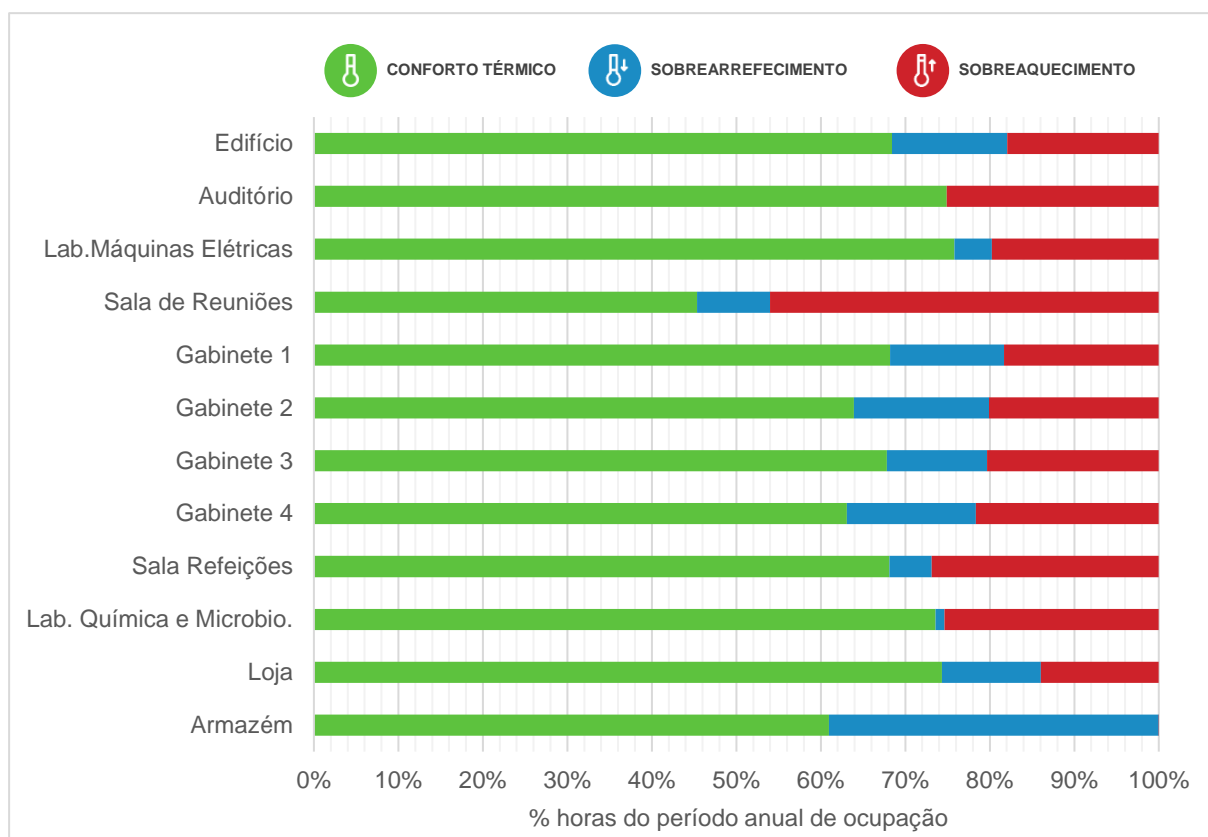


Figura 5.7 – Desempenho do Sistema de Ventilação Natural relativamente ao Conforto Térmico, para meio urbano, no período de ocupação.

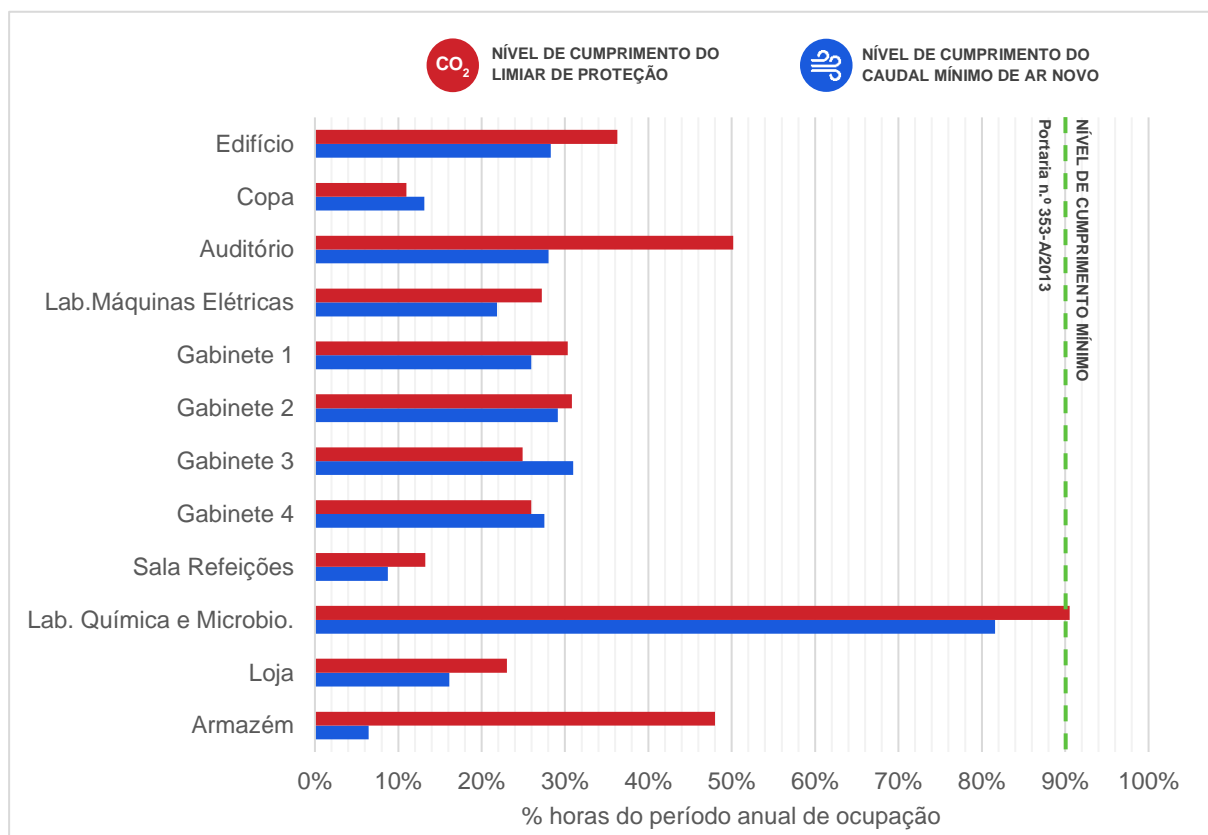


Figura 5.8 – Desempenho do Sistema de Ventilação Natural relativamente à Qualidade do Ar, para meio urbano, no período de ocupação.

5.4. Desempenho Energético do Edifício

Considerando os resultados relativos à *performance* do sistema de ventilação natural, a entrega de ar novo e a correção da carga térmica serão realizadas exclusivamente por sistemas mecânicos durante o período de ocupação do edifício. Para a avaliação do desempenho energético do edifício foram definidos quatro cenários de consumo:

- (a) Cenário AVAC (cenário base) – cenário no qual a climatização e o caudal de ar novo recorrem a sistemas mecânicos (UTAN+Unidades VRV) que operam unicamente no período de ocupação⁽³²⁾. Excecionalmente as instalações sanitárias têm garantida a ventilação num período mais alargado, das 6:30h às 21:00h, de forma a garantir que no período não ocupado a qualidade do ar interior seja preservada. Os Laboratórios de Química e Microbiologia e de Máquinas Elétricas serão laboratórios certificados, e como tal são espaços que requerem climatização 24h/24h por ser necessário garantir as condições de ambiente controlado. Analogamente a Sala de Baterias e Inversores necessita que sejam garantidas, também, as condições de ambiente controlado dado ao cariz sensível dos equipamentos que se encontram no seu interior. A ventilação das zonas de circulação recorre às janelas presentes na claraboia;
- (b) Cenário Híbrido i – Durante o período diurno/de ocupação o sistema AVAC garante as condições de conforto, no período não ocupado o arrefecimento do edifício recorre à ventilação natural via aberturas motorizadas instaladas em todas as janelas. No caso dos laboratórios a ventilação natural é comutada para o sistema AVAC quando esta não permite corrigir eficazmente a carga térmica através do objeto *AvailabilityManager:HybridVentilation*.
- (c) Cenário Híbrido ii – O edifício apresenta o mesmo princípio de funcionamento do cenário anterior, com a diferença de que a UTAN só entrega ar novo climatizado às divisões quando estas estão ocupadas, ou seja, pressupõe-se que na condução de insuflação de cada divisão existe um registo com abertura controlável remotamente e que o ventilador da UTAN tem um variador de velocidade;
- (d) Cenário de Referência – cenário no qual o edifício utiliza as soluções construtivas⁽³³⁾ e os sistemas técnicos de referência previstos pelo RECS.

Os cenários de consumo do edifício não exploram a implementação de medidas que reduzam o consumo de energia por parte do setor dos equipamentos devido à sua especificidade.

Na Tabela C.3, que se segue em anexo, encontram-se as potências de projeto do sistema de climatização obtidas para o cenário base e que deverão ser incorporadas no projeto final do sistema AVAC do edifício ESNE. Os resultados relativos ao consumo energético obtidos por simulação apresentam-se de forma detalhada na Tabela C.4 à Tabela C.7 e estando sintetizados na Figura 5.9, sendo que estes referem-se unicamente ao meio urbanizado. Verificou-se que a presença ou ausência de urbanizações vizinhas têm um impacto absoluto não superior a 1,5% no desempenho energético do edifício. Para além do problema levantado na secção anterior, o facto das janelas presentes no edifício pertencerem à Classe 4 de estanquicidade ao ar e terem uma abertura motorizada ajustável, que lhes permite maximizar o efeito de ventilação natural, poderá justificar um desempenho energético similar do edifício em ambos os meios (urbanizado e não urbanizado).

O edifício no Cenário AVAC apresenta um consumo anual de 53,6MWh (Tabela C.4) que corresponde a uma densidade de consumo de 49,3kWh/m²·ano (Figura 5.9). A introdução de arrefecimento noturno (cenário Híbrido i) permitiu apenas uma redução de 1,7% no consumo de energia anual face ao cenário base, que aliado ao sistema de ventilação mecânica ajustável (cenário Híbrido ii) permite uma redução de 8,0%

⁽³²⁾ O período de ocupação em dia útil é das 7:30h às 19:30h e aos sábados é das 7:30h às 18:30h.

⁽³³⁾ Para além da alteração da espessura do isolamento exterior foi necessário substituir o bloco de betão leve TERMOACÚSTICO Artebel®, presente nas paredes exteriores, pelo bloco de betão leve ISOARGILA Artebel® de forma a manter massa térmica útil interior e a obter um coeficiente de transferência de calor igual a 0,50W/K·m².

também face ao cenário base. No entanto, verifica-se que nos três cenários estudados para o edifício real são os equipamentos que estão na origem de aproximadamente 60% do consumo de energia elétrica (Figura 5.9).

Os princípios bioclimáticos presentes no edifício aliados às medidas de eficiência energética adotadas para os sistemas de iluminação e de climatização, permitem oferecer conforto aos seus ocupantes com um pequeno consumo de energia. Comparando o cenário base com o cenário de referência verifica-se que existem diferenças notórias na forma do consumo de energia para que o edifício desempenhe as mesmas funções. Em energia para aquecimento observa-se uma queda de 39,4% enquanto que para arrefecimento esta é de 43,6%. É na energia dedicada à ventilação e ao sistema de iluminação que se verifica a maior redução, mais precisamente de 50,4% e de 60,1%, respetivamente.

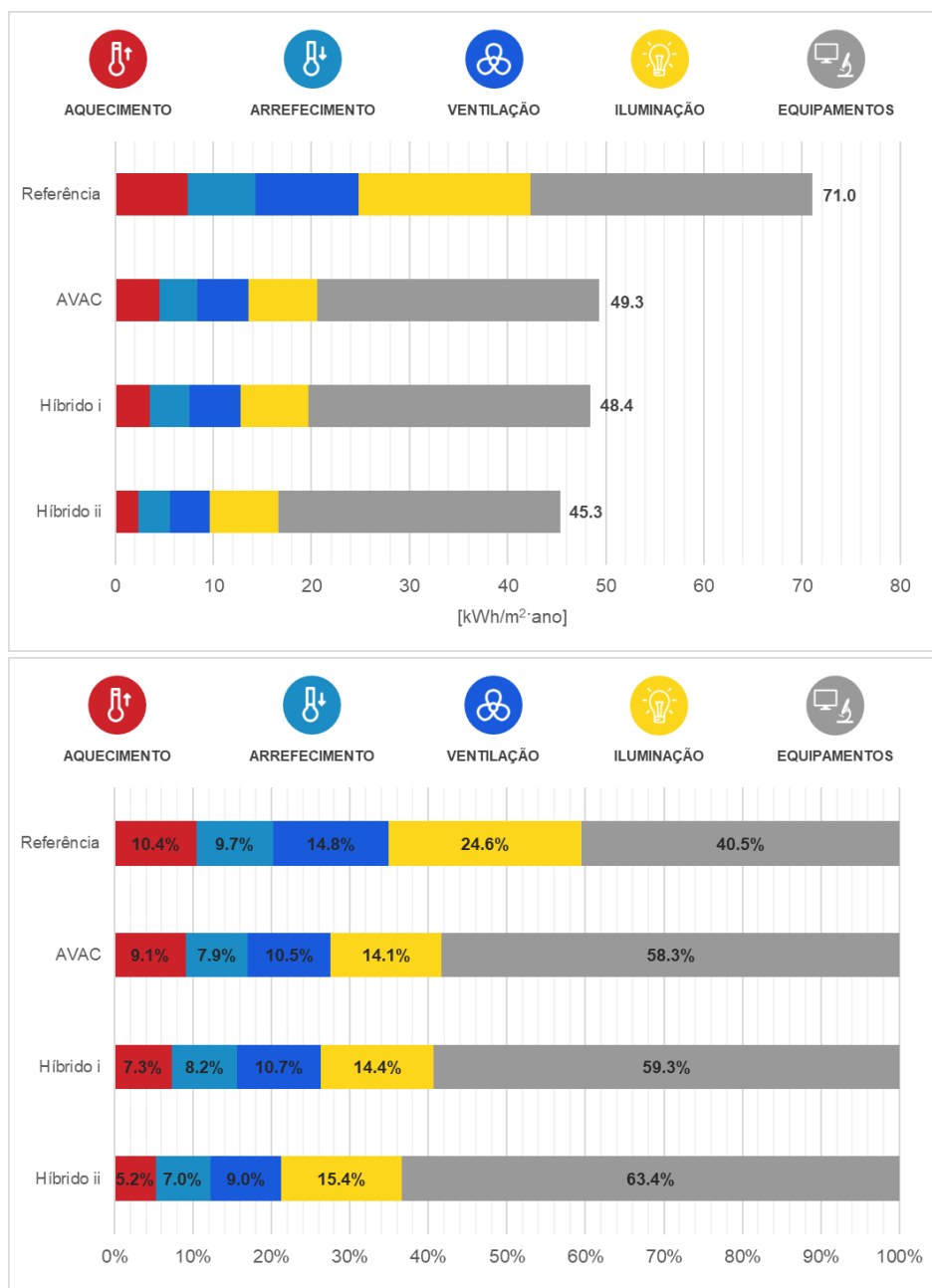


Figura 5.9 – Desagregação do Consumo de Energia Elétrica por fonte em termos absolutos por área de pavimento útil (cima) e em termos percentuais (baixo) para os quatro cenários em estudo, em meio urbano.

No entanto, no setor dos equipamentos, mais propriamente, no âmbito dos elevadores embora o seu consumo seja regulado pelo RECS, este não prevê na sua metodologia de cálculo qual o impacto teria no consumo do edifício de referência a utilização de um elevador com a classe energética mínima.

6. Integração de Produção Renovável

A integração de produção renovável num edifício é desafiante dado à dificuldade existente na mitigação dos impactos visuais dos equipamentos de produção. Contudo o Estudo Prévio do edifício ESNE já previa a necessidade de reservar a cobertura para a integração de módulos solares fotovoltaicos e parte do terraço técnico para a instalação de um sistema solar térmico. A tecnologia de produção renovável adotada foi a solar fotovoltaica dado às necessidades energéticas se restringirem ao consumo de energia elétrica. A instalação de mini-eólicas poderia ser uma opção para compensar a ausência de produção pelo sistema solar no período noturno, todavia não foi explorada devido essencialmente a esses sistemas de pequenas escalas apresentarem ainda um custo-benefício desvantajoso⁽³⁴⁾.

A produção renovável num edifício decorre ao abrigo do Regime de Produção Distribuída (RPD), que estabelece como devem ser integradas as chamadas “*Unidades de Produção para Autoconsumo*” (UPAC) na instalação elétrica de consumo no edifício, estando na Figura 6.1 o tipo de unidades passíveis de existirem para instalações com a tecnologia solar fotovoltaica. Numa UPAC que tenha a sua produção *On-grid*, a energia produzida é injetada na instalação de consumo, onde os eventuais excedentes de produção instantânea poderão ser injetados na RESP dependendo da pretensão do proprietário da instalação, visto a produção poder ser ajustada ao consumo através da incorporação de um gestor de produção que permite alcançar a “injeção zero”. Estas unidades são caracterizadas pela utilização de inversores⁽³⁵⁾ de rede que injetam exclusivamente a energia captada pelo sistema de produção renovável na instalação de consumo. As UPAC com produção *Off-grid* caracterizam-se por armazenarem a energia produzida em excesso e por estarem dotadas de um inversor híbrido que, para além de ser o gestor global do sistema de produção, garante que a interação do edifício com a rede seja exclusivamente passiva. Contudo, nos casos de regime isolado ao invés da utilização da rede como sistema auxiliar é utilizado um gerador com motor de combustão interna.

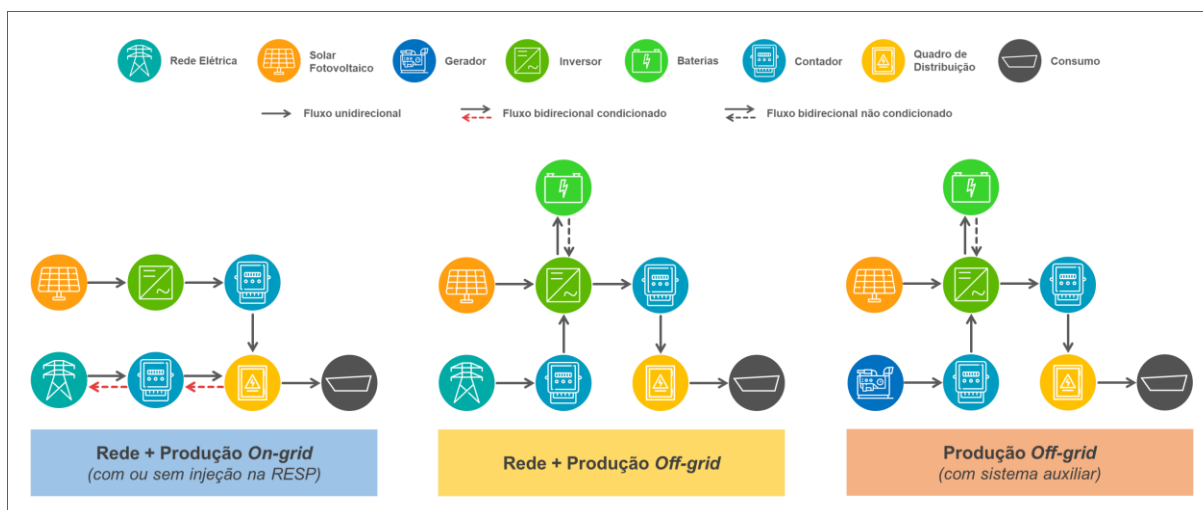


Figura 6.1 – Esquema simplificado do tipo de unidades de produção para autoconsumo, previstas pelo Decreto-Lei n.º 153/2014 e tipificadas pela CTE 64 para a tecnologia solar fotovoltaica [33].

Atendendo aos tipos de UPAC, a avaliação da integração de produção renovável considerou dois cenários de interação com a rede pública e um sem qualquer interação. Os cenários são os seguintes: (i)

⁽³⁴⁾ Comparando uma turbina ENAIR 200L, com uma potência nominal de 10kW a uma cota de 15m, que apresenta um potencial de produção de energia elétrica para o local do caso de estudo de 950kWh/kWp·ano com um custo de instalação de 5 875€/kWp [62] [63], com o sistema solar adotado que apresenta um potencial de produção de 1 440kWh/kWp·ano e um custo que varia entre 574€/kWp e 1 774€/kWp atendendo à dimensão do banco de baterias, fica enunciada a disparidade do custo-benefício entre estas duas tecnologias de produção renovável.

⁽³⁵⁾ Equipamentos responsáveis pela conversão da corrente contínua em corrente alternada à tensão de serviço na instalação elétrica de consumo [34].

aquisição de energia à rede pública e produção renovável *On-grid* com injeção na rede; (ii) aquisição de energia à rede pública e produção renovável *Off-grid*; (iii) produção renovável *Off-grid*. O objetivo desta avaliação foi encontrar qual o cenário mais favorável para a operação do edifício não comprometendo a definição NZEB deste.

6.1. Dimensionamento e Avaliação Económica do Sistema de Produção Renovável

6.1.1. Metodologia de Dimensionamento

A simulação dinâmica do edifício permitiu produzir o diagrama de carga que traduz a procura de energia numa base horária. No entanto, o diagrama de carga que se obteve-se no pós-tratamento dos resultados da simulação, para cada cenário de consumo, não contempla o consumo pontual por parte do elevador e de sistemas de iluminação de arrumos, zonas técnicas e instalações sanitárias. Como tal, o consumo associado a estas divisões e por esses setores foi distribuído uniformemente no diagrama de carga para o período de ocupação do edifício.

O dimensionamento do sistema solar recorreu ao *HOMER Pro*®, que consiste num *software* que permite a modelação de micro-redes onde, atendendo aos recursos e equipamentos disponíveis e realizando uma análise de fluxo de carga, é possível obter o dimensionamento ótimo. O *HOMER Pro*® necessita como *inputs* o diagrama de carga de consumo e o diagrama de carga do potencial de produção por parte do sistema de produção renovável. Nesse sentido foi definido, atendendo às condicionantes espaciais da cobertura do edifício ESNE, que o número máximo de módulos solares fotovoltaicos que poderão ser instalados é de 198 unidades integrados na cobertura, de acordo com a Figura 6.2. O potencial de produção foi avaliado com recurso ao *EnergyPlus*® de forma a serem contemplado os mesmos dados climáticos utilizados na simulação dinâmica do edifício. Para tal, foi criado um novo modelo do edifício onde foi reproduzido apenas o volume exterior do edifício e a área dedicada à instalação dos módulos solares (Figura 6.2), considerando que os 198 módulos estariam distribuídos por 11 fileiras em paralelo de 18 módulos em série. Os módulos solares foram simulados com recurso aos objetos *Generator:Photovoltaic* e *PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne-Diode*, onde as características técnicas destes foram definidas de acordo com a ficha técnica fornecida pelo fabricante (Figura C.2) e as perdas na cablagem seriam apenas de 3,5% [34]. O potencial de produção bruta do sistema é de 9366kWh/ano·fileira, ou seja, de 103MWh/ano.

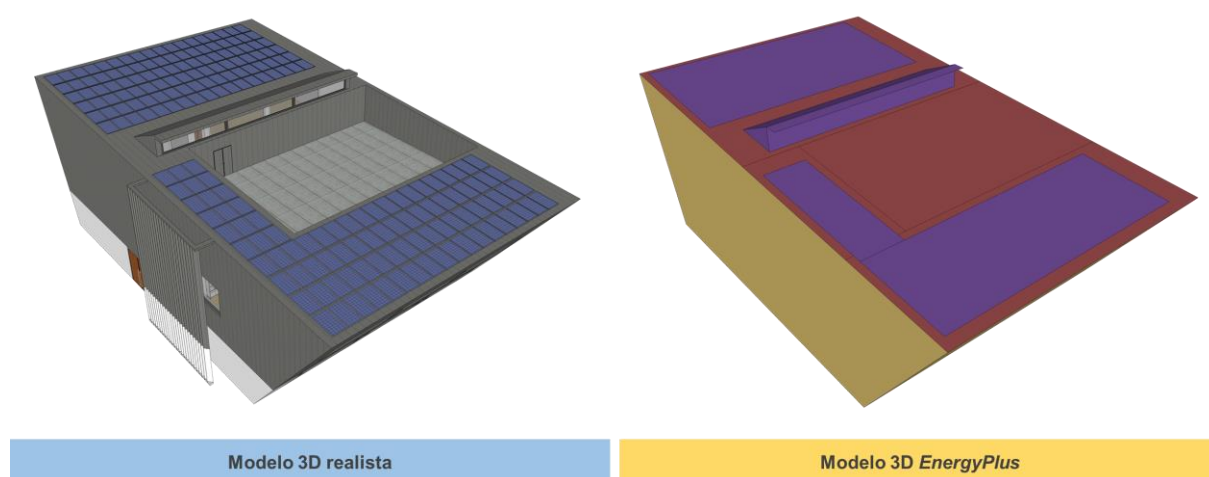


Figura 6.2 – Implementação do sistema solar fotovoltaico no modelo 3D realista e no modelo 3D EnergyPlus®.

No *HOMER Pro*®, para além de ser introduzido a oferta renovável e o consumo por parte do edifício, para os cenários de operação em que era utilizada a rede foi definido o tarifário de aquisição de energia elétrica (Tabela C.8). Este foi definido atendendo à oferta comercial de todos os comercializadores de energia presentes no mercado nacional liberalizado, autorizados e registados para o efeito na Direção-

Geral de Energia e Geologia à data de 28 de fevereiro de 2019, para uma potência contratada de 27,6kVA⁽³⁶⁾ e para ofertas contratuais sem fidelização, contrapartidas e com uma validade de 6 meses a 12 meses. Paralelamente, para o cenário em que os excedentes de produção são injetados na rede foi definida a tarifa simples de venda da energia, atendendo ao valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) presente na Tabela C.9 e à fórmula de cálculo de remuneração prevista no Artigo 24.º do Decreto-Lei n.º 153/2014.

No cenário em que o edifício opera em regime isolado o sistema auxiliar consistiu num gerador com motor de combustão interna, em que se pressupõe a utilização de *biodiesel* produzido a partir de óleos alimentares usados, e cujo custo corresponde ao valor médio do gasóleo comercializado no mercado nacional para os anos de 2016 a 2018 (1,235€/l [35]).

O *HOMER Pro*® numa primeira fase foi utilizado para definir o pré-dimensionamento do sistema, para cada cenário de operação e cada cenário de consumo, considerando a produção renovável, os custos dos equipamentos, dos componentes e de operação e manutenção do sistema normalizados pela potência instalada. Após o *HOMER Pro*® devolver o sistema economicamente mais viável⁽³⁷⁾ o sistema foi redimensionado de forma a que fossem respeitadas as características técnicas dos inversores considerados, assim como, os seus limites operacionais (Figura C.3 e Figura C.4) e as normas técnicas enunciadas por Lima Morais [34].

As características técnicas relativas às baterias e ao gerador adotadas seguiram as recomendações do próprio *software*, atendendo à sua biblioteca de equipamentos disponibilizada pelos respetivos fabricantes. Os custos dos equipamentos adotados encontram-se na Tabela C.10, e os custos de exploração das UPAC previstos pelo RPD⁽³⁸⁾ encontram-se na Tabela C.11.

No processo de dimensionamento, para os cenários de operação que utilizavam a rede, foi definido um limite máximo para a potência nominal total dos inversores, que corresponde ao valor da potência contratada, e onde a potência instalada total em módulos solares fotovoltaicos não poderia ser superior a duas vezes à potência nominal total dos inversores⁽³⁹⁾.

O resultado relativo ao dimensionamento do sistema solar fotovoltaico para cada cenário em estudo encontra-se na Tabela 6.1, onde se apresenta a configuração do sistema e os respetivos equipamentos que dele fazem parte. Em complemento, foi produzida a planta de instalação dos módulos solares fotovoltaicos para cada cenário de operação do edifício que está disponível em anexo (Figura C.5 à Figura C.7), onde é indicado como deverão ser os módulos interligados aos inversores.

Paralelamente, do *HOMER Pro*® ainda foram exportados os resultados relativos à sua análise de fluxo de carga que servem de base para a avaliação do desempenho económico e o cálculo dos indicadores de produção renovável.

⁽³⁶⁾ Potência contratada mais próxima do pico de potência anual do edifício, para os três cenários de consumo, majorado em 10% (margem de segurança).

⁽³⁷⁾ De acordo com o modelo económico adotado pelo *HOMER Pro*®.

⁽³⁸⁾ Número 1 do Artigo 25.º e Número 1 do Artigo 37.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, Número 1 do Artigo 19.º da Portaria n.º 14/2015, de 23 de janeiro, Artigos 197.º, 198.º, 199.º e 201.º do Regulamento n.º 561/2014, de 22 de dezembro da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

⁽³⁹⁾ Alíneas b) e c) do Artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

Tabela 6.1 – Design do Sistema de Produção Renovável obtido através do HOMER Pro® para cada cenário de consumo e cada cenário de operação do edifício.

CENÁRIO	DESIGN SISTEMA			
	Módulos Solares Fotovoltaicos JAM60S01-320/PR	Inversores FRONIUS PRIMO 5.0-1 / InfiniSolar Plus 5kW	Banco de Baterias Hoppeck OPzS	Gerador Hyundai DHY25KSEm

AVAC

Rede+Produção On-grid	(6x(18)) 34,6kW	FP (5x(1)) 25,0kW	-	-
Rede+Produção Off-grid	(6x(18)) 34,6kW	IS (5x(1)) 25,0kW	(1x(24))x(2Vx4700Ah)	-
Produção Off-grid	(11x(18)) 63,4kW	IS (8x(1)) 40,0kW	(3x(24))x(2Vx4700Ah)	(1x(1)) 25,0kW

HÍBRIDO i

Rede+Produção On-grid	(6x(18)) 34,6kW	FP (5x(1)) 25,0kW	-	-
Rede+Produção Off-grid	(6x(18)) 34,6kW	IS (5x(1)) 25,0kW	(1x(24))x(2Vx3980Ah)	-
Produção Off-grid	(11x(18)) 63,4kW	IS (8x(1)) 40,0kW	(2x(24))x(2Vx4340Ah)	(1x(1)) 25,0kW

HÍBRIDO ii

Rede+Produção On-grid	(6x(18)) 34,6kW	FP (5x(1)) 25,0kW	-	-
Rede+Produção Off-grid	(6x(18)) 34,6kW	IS (5x(1)) 25,0kW	(1x(24))x(2Vx1220Ah)	-
Produção Off-grid	(11x(18)) 63,4kW	IS (8x(1)) 40,0kW	(2x(24))x(2Vx4340Ah)	(1x(1)) 25,0kW

NOMENCLATURA:

(xx(y)) kW: x fileiras em paralelo de y elementos que totalizam uma potência instalada de kW; (xx(y))x(kxu): x fileiras em paralelo de y baterias que apresentam uma tensão nominal de funcionamento de k e uma capacidade de armazenamento de u; FP: FRONIUS PRIMO 5.0-1; IS: InfiniSolar Plus 5kW;

6.1.2. Metodologia de Avaliação Económica

O HOMER Pro® embora seja eficaz no dimensionamento e na análise de fluxo de carga, não permite que a avaliação económica considere custos de operação e manutenção ou receitas com períodos de extensão distintos do período de vida do projeto, assim como não permite contabilizar os efeitos da variação dos custos com a energia. O desempenho económico de cada cenário de consumo e de cada cenário de operação do edifício foi determinado definindo, de acordo com a metodologia sugerida por Camilo *et al.* [36], o Valor Atual Líquido (VAL), o Custo Anual de Operação Médio Atualizado ($c_{op,a}$, em €/ano), o Custo Unitário Médio Atualizado (c_a , em €/kWh), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Índice de Rentabilidade Efetiva (IRE) e o Período de Retorno do Investimento (PRI).

A base da avaliação económica de um projeto reside na definição da taxa de atualização, que visa compatibilizar valores monetários futuros, isto é, procura determinar que valor tem no momento presente, determinado capital que se irá consumir ou receber no futuro [37]. Esta pode ser definida de acordo com a expressão (6.1) que relaciona a taxa de juro de referência (a_{ref}) definida pelo Banco de Portugal (6,20% [38]) e a taxa de inflação (a_i) média no período de 2006 a 2018 no setor “Habitação, água, eletricidade, gás e outros combustíveis” em Portugal (3,20% [39]), apresentando o valor de 2,91%.

$$a = \frac{a_{ref} - a_i}{1 + a_i} \quad (6.1)$$

O VAL é definido como a diferença entre as entradas e saídas de dinheiro, designados por fluxos de caixa, devidamente atualizados durante a vida útil do projeto a uma dada taxa de atualização [37]. Se este toma um valor positivo evidencia um sinal de viabilidade económica, ou seja, as receitas geradas ao longo da vida do projeto permitirão cobrir o investimento, verificando-se o oposto quando o VAL toma valores negativos. Contudo, se este toma um valor nulo significa que o investimento é recuperável, mas com uma rentabilidade incerta [37]. O VAL é dado por:

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{L,j}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n} \quad (6.2)$$

em que n é o período de vida do projeto, considerando-se que este equivale ao período de vida útil dos módulos solares fotovoltaicos (25 anos), I_j o investimento realizado no ano j , V_r o valor do capital recuperável no fim da vida do projeto e $R_{L,j}$ a receita líquida realizada no ano j . O V_r foi determinado atendendo ao valor de investimento de cada equipamento normalizado pelo seu número de anos de vida útil, e calculando o tempo de vida útil restante de cada equipamento no fim do período de vida do projeto. A $R_{L,j}$ é definida de acordo com as expressões (6.3) e (6.4)⁽⁴⁰⁾, onde $R_{UPAC,j}$ é a receita da venda de energia elétrica ao CUR determinado nos termos dos Artigos 23.º e 24.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, $c_{ev,j}$ os custos evitados com aquisição de energia elétrica à rede, $c_{aq,j}$ os custos de aquisição de energia elétrica à rede, $c_{CIEG,j}$ o custo da compensação da UPAC devido aos custos de interesse económico geral previstos no RPD, $c_{O\&M,j}$ os custos de operação e manutenção, $c_{bio,j}$ os custos de aquisição de *biodiesel*, e s a taxa de variação média do custo da energia elétrica em Portugal no período de 2006 a 2017 (4,63% [1]).

$$\begin{cases} R_{L,j} = (R_{UPAC,j} + c_{ev,j} - c_{aq,j} - c_{CIEG,j}) \times (1+s)^j - c_{O\&M,j} & j \leq 10 \\ R_{L,j} = (c_{ev,j} - c_{aq,j}) \times (1+s)^j - c_{O\&M,j} & j > 10 \end{cases} \quad (6.3)$$

$$R_{L,j} = c_{ev,j} \times (1+s)^j - c_{O\&M,j} - c_{bio,j} \times (1+i)^j \quad (6.4)$$

O Custo Anual de Operação Médio Atualizado ($c_{op,a}$) traduz os custos de operação do edifício expectáveis atualizados ao longo da vida útil do projeto e é determinado pela expressão (6.5). O Custo Unitário Médio Atualizado (c_a) traduz o custo da energia elétrica fornecida ao edifício, ou seja, trata-se da normalização do $c_{op,a}$ pela energia consumida anualmente na instalação elétrica (E_c) e é dado pela expressão (6.6). O $c_{op,a}$ e c_a permitem avaliar em qual cenário de consumo e de operação o edifício apresenta um custo financeiro mais vantajoso.

$$c_{op,a} = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} + \sum_{j=1}^n \frac{(c_{aq,j} + c_{CIEG,j}) \cdot (1+s)^j + c_{O\&M,j} + c_{bio,j} \cdot (1+i)^j}{(1+a)^j} - \frac{V_r}{(1+a)^n}}{\left(1 - \frac{1}{(1+a)^n}\right) \cdot a^{-1}} \quad (6.5)$$

$$c_a = \frac{c_{op,a}}{E_c} \quad (6.6)$$

A TIR indica qual a rentabilidade do investimento, ou seja, permite avaliar se o projeto consegue gerar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital [37]. A TIR é definida como a taxa de atualização que anula o VAL (expressão (6.7)), sendo que para uma TIR superior à taxa de atualização o projeto apresenta um potencial de viabilidade económica. Para uma TIR igual ou inferior à taxa de atualização a rentabilidade do projeto não é alcançada [37].

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_{L,j}}{(1+TIR)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+TIR)^j} + \frac{V_r}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (6.7)$$

⁽⁴⁰⁾ A expressão (6.3) é utilizada nos cenários onde a rede pública está presente, enquanto a expressão (6.4) é referente ao cenário de operação Produção *Off-grid*.

O Índice de Rentabilidade Efetiva (IRE) é definido como a razão da receita líquida do projeto por cada unidade de capital investido (expressão (6.8)), sendo que quando o IRE apresenta um valor superior ou igual a um, equivale a que o VAL apresente um valor igual ou superior a zero [37]. Contudo, para além de todos os indicadores apresentados, saber o tempo necessário para que as receitas líquidas geradas cubram o investimento inicial realizado é crucial na definição do tipo de investimento. Ou seja, através do Período de Retorno do Investimento (PRI, expressão (6.9)) é possível perceber se estamos perante um investimento em que consiga produzir dividendos em tempo útil ($PRI < n$), ou caso contrário é um investimento que produz somente passivos.

$$IRE = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{R_{L,j}}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n}}{\sum_{j=0}^{N-1} \frac{I_j}{(1+a)^j}} \quad (6.8)$$

$$\sum_{j=1}^{PRI} \frac{R_{L,j}}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n} = \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} \quad (6.9)$$

6.2. Produção Renovável e Indicadores Económicos

6.2.1. Produção Renovável

Atendendo à Figura 6.3, temos que no cenário Rede+Produção *On-grid*, para o cenário de consumo AVAC, o edifício apresenta uma produção renovável global de 49,8MWh/ano, da qual 20,0MWh/ano é injetada à rede, significando que somente 55,7% das necessidades de energia elétrica são cobertas pelo sistema solar fotovoltaico. Com a introdução de baterias, cenário Rede+Produção *Off-grid*, o edifício deixa de ter um papel de utilizador ativo da rede, passando a armazenar os excedentes de produção e a utilizar pontualmente a rede como sistema auxiliar, que permite atingir uma produção renovável anual de 41,5MWh/ano cobrindo 77,5% das necessidades anuais de energia elétrica. Nos cenários em que a rede está presente a dimensão do sistema renovável está condicionada às limitações impostas pelo RPD⁽⁴¹⁾, e como tal, em termos de energia final, o edifício não consegue apresentar uma penetração de produção renovável local com valor superior a 95%. É em regime de Produção *Off-grid* que é possível garantir uma penetração de energia renovável superior a 95% ou igual a 100%, dependendo se é utilizado gasóleo ou *biodiesel* como definido, possibilitando que a classificação do edifício ESNE como NZEB seja alcançada.

As medidas de eficiência energética implementadas e que são representadas pelos cenários de consumo Híbrido i e Híbrido ii, não apresentam um impacto relevante na forma de penetração da produção renovável no edifício. No entanto, verifica-se que, para o cenário de operação Rede+Produção *Off-grid*, a redução do perfil de carga no período noturno pela introdução de ventilação natural (cenário de consumo Híbrido i) e a introdução do sistema de ventilação mecânica ajustável (cenário de consumo Híbrido ii), provocam a redução da penetração renovável face ao cenário de consumo AVAC⁽⁴²⁾. Isto sucede devido à condicionante económica do custo do armazenamento.

Em anexo, da Figura C.8 à Figura C.19 encontram-se, a título de exemplo, os diagramas de carga obtidos através do *HOMER Pro*® para o dia 10 de janeiro (inverno) e o dia 17 de maio (primavera), e onde se pode observar como o sistema concebido para os cenários de operação Rede+Produção *Off-grid* e Produção *Off-grid* responde ao perfil de carga de cada cenário de consumo. Para o dia 10 de janeiro verifica-se, para todos os cenários de consumo e de operação, a presença da rede ou do gerador como sistema de auxílio. No entanto, no dia 17 de maio observa-se que a rede elétrica, no regime Rede+Produção *Off-grid*, é utilizada no período noturno como apoio pontual nos cenários de consumo

⁽⁴¹⁾ Alíneas b) e c) do Artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.

⁽⁴²⁾ Para no caso do Híbrido i temos uma penetração de 71,5% e no caso do Híbrido ii temos uma penetração de 72,5%.

6. INTEGRAÇÃO DE PRODUÇÃO RENOVÁVEL

Híbrido i e Híbrido ii, enquanto no cenário de consumo AVAC a energia armazenada consegue cobrir o consumo noturno. Em regime de Produção *Off-grid* para todos os cenários de consumo, todo o consumo é coberto ora por produção instantânea solar fotovoltaica ora pela energia excedente da produção armazenada.

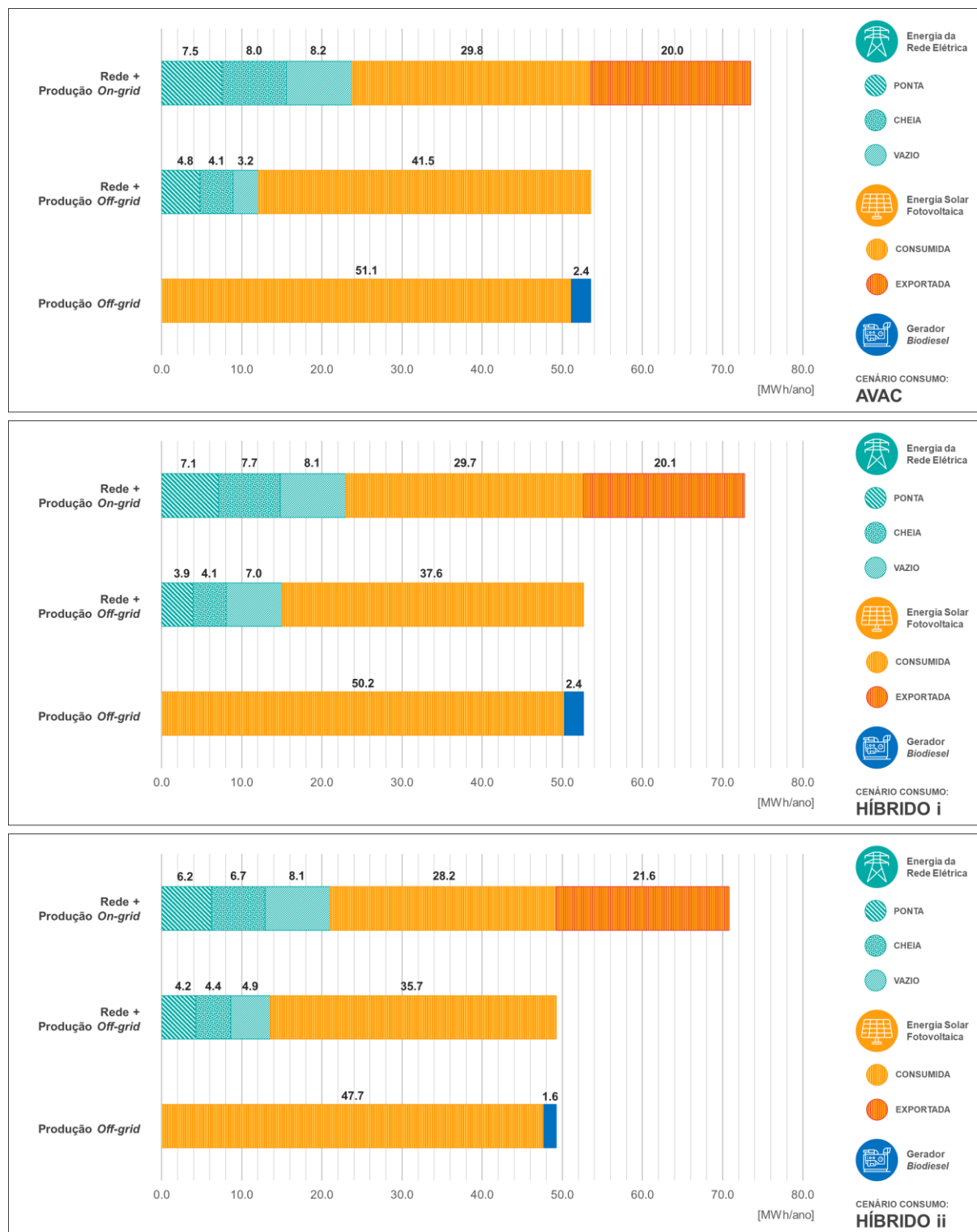


Figura 6.3 – Desagregação da energia consumida e produzida no edifício ESNE por fonte para cada cenário de consumo e para cada cenário de operação.

6.2.2. Indicadores Económicos

Da aplicação da Metodologia de Avaliação Económica enunciada na secção 6.1.2 aos resultados da análise de fluxo de carga obtidos pelo *HOMER Pro*® e atendendo ao *design* do sistema de produção renovável, obteve-se a Tabela 6.2, que reúne todos os indicadores económicos referentes a cada cenário. O cenário base é definido, no âmbito da análise económica realizada, como um cenário hipotético no qual o edifício utiliza exclusivamente a rede elétrica.

Tabela 6.2 – Indicadores de desempenho económico do edifício ESNE para os cenários de consumo e operação estudados.

CENÁRIO	INDICADOR ECONÓMICO						
	Investimento Inicial [€]	VAL [€]	TIR [%]	IRE	PRI [anos]	$c_{op,a}$ [€/ano]	c_a [€/kWh]
AVAC							
Base	⁽⁴³⁾ 499	-371 602	-	-	-	21 120	0,3944
Rede+Produção <i>On-grid</i>	20 824	-11 537	-1,44%	0,54	>25	11 850	0,2213
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	48 447	78 902	10,93%	2,15	13,9	10 697	0,1997
Produção <i>Off-grid</i>	119 466	208 936	12,31%	2,24	12,0	10 001	0,1867
HÍBRIDO i							
Base	499	-364 488	-	-	-	20 715	0,3935
Rede+Produção <i>On-grid</i>	20 824	-5 829	0,90%	0,77	>25	11 484	0,2182
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	45 990	65 285	10,00%	2,01	14,9	10 787	0,2049
Produção <i>Off-grid</i>	93 843	216 589	14,62%	2,68	10,0	8 377	0,1592
HÍBRIDO ii							
Base	499	-340 360	-	-	-	19 344	0,3927
Rede+Produção <i>On-grid</i>	20 824	1 663	3,44%	1,07	24,0	10 561	0,2144
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	31 732	65 783	12,28%	2,55	12,9	9 538	0,1936
Produção <i>Off-grid</i>	93 843	221 293	15,28%	2,80	9,6	7 670	0,1557

Atendendo à tabela acima, verifica-se que dentro de cada cenário de consumo o investimento inicial aumenta à medida que tendemos para o regime de operação isolado, mas contrariamente observa-se uma tendência inversa no âmbito do custo de operação médio anual atualizado e do custo unitário médio atualizado. A introdução de produção renovável permite sempre uma redução dos custos de operação, mesmo revelando-se economicamente inviável, como sucede nos casos dos cenários de consumo AVAC e Híbrido i para o cenário de operação Rede+Produção *On-grid* ($IRE < 1$ e $PRI > 25$). Contudo, o cenário de operação Rede+Produção *On-grid* revela-se como o mais economicamente inviável devido à remuneração da energia que fornece à rede apresentar um valor 4,8 vezes inferior ao custo de aquisição.

Embora as medidas de eficiência energética previstas nos cenários de consumo Híbrido i e Híbrido ii não apresentem um impacto relevante no desempenho energético, como já referido, verificam-se cruciais na redução dos custos de operação do edifício. Partindo do cenário de consumo AVAC, em regime de Produção *Off-grid*, as medidas previstas no cenário Híbrido i permite alcançar uma redução de 16,2%, e atendendo ao previsto pelo cenário Híbrido ii a redução de custos atinge os 23,3%. Esta diminuição de custos deve-se à utilização de bancos de baterias com menor capacidade de armazenamento. A escolha do cenário de consumo+cenário de operação mais favorável recairá possivelmente no cenário de consumo Híbrido ii para o cenário de operação Produção *Off-grid*, dado a que não se sabe qual o custo de investimento associado à implementação de um sistema de ventilação mecânica ajustável.

Na Figura 6.4 apresenta-se a desagregação do custo de operação anual médio atualizado para cada cenário de operação e para cada cenário de consumo. Os custos associados à aquisição de energia e utilização da rede elétrica representam mais de 85% dos custos anuais totais de operação no cenário Rede+Produção *On-grid* para todos os cenários de consumo. Com a introdução do armazenamento, no

⁽⁴³⁾ Taxa de conexão à rede de serviço público prevista nos Artigos 197.º, 198.º, 199.º e 201.º do Regulamento n.º 561/2014, de 22 de dezembro da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

cenário Rede+Produção *Off-grid*, verifica-se uma redução destes, que, no entanto, continuam a representar uma fatia relevante (entre 65% e 75%) face aos restantes intervenientes do sistema de produção renovável.

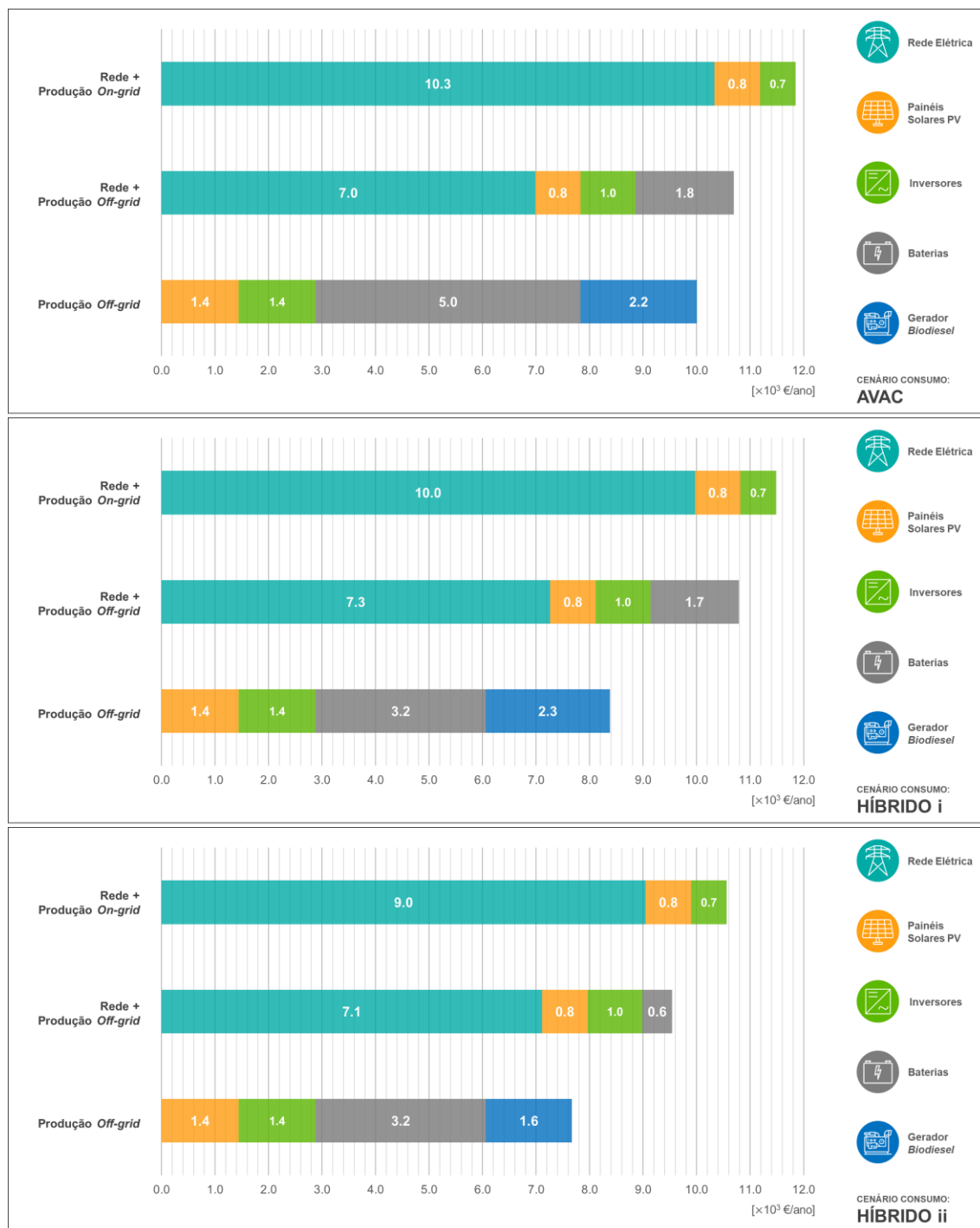


Figura 6.4 – Desagregação do custo anual de operação médio atualizado por setor para cada cenário de consumo e para cada cenário de operação.

No caso do cenário de operação Produção *Off-grid*, como era expectável, as baterias são as responsáveis pela maior fatia dos custos de operação (entre 40% a 50%), como se verifica na figura acima para os três cenários de consumo. Contudo, o custo associado à produção de energia pelo gerador está dependente do custo do *biodiesel*. Se o custo deste for superior ou igual a 1,766€/L para o cenário AVAC, a 2,922€/L para o cenário Híbrido i e a 3,410€/L para o cenário Híbrido ii, o custo de operação do edifício torna-se economicamente equivalente ou superior ao custo de operação do cenário Rede+Produção *Off-grid*. Porém, dos três cenários de consumo o que se mostra mais volátil à alteração dos preços de mercado de combustíveis é o cenário AVAC.

7. Avaliação do Desempenho Global do Edifício

7.1. Metodologia Sartori, REHVA e RECS

O conceito de *Net Zero Energy Building* de forma geral consiste num edifício que ao longo de um ano apresenta um balanço nulo entre a procura (consumo) e a oferta (produção renovável local). Este balanço pode ser definido como a diferença ponderada entre a energia requerida à rede (E_{req}) e a energia exportada (E_{exp}), ou como a diferença ponderada entre o consumo (E_{cons}) e a produção local (E_{prod}) [8]. Considerando a fronteira de ação do edifício como ele próprio e de acordo com Sartori *et al.* [8], o balanço de energia pode ser dado pelas expressões (7.1) e (7.2), onde $f_{pu,i}^e$ e $f_{pu,i}^r$ tratam-se dos fatores de ponderação que permitem converter a energia final associada ao vetor energético i , presente na energia exportada (e) e na energia requerida (r), na unidade métrica de balanço.

$$\Delta E = \sum_i E_{exp,i} \cdot f_{pu,i}^e - \sum_i E_{req,i} \cdot f_{pu,i}^r \quad (7.1)$$

$$\Delta E = \sum_i E_{prod,i} \cdot f_{pu,i}^e - \sum_i E_{cons,i} \cdot f_{pu,i}^r \quad (7.2)$$

Na discussão realizada por Sartori *et al.* [8], o vetor energético pode ser ponderado simetricamente, utilizando o mesmo fator de ponderação para ambas as quantidades de energia exportada e requerida, ou assimetricamente, utilizando fatores de ponderação distintos. A utilização da ponderação simétrica considera que a energia exportada para a rede irá permitir evitar uma produção equivalente num outro ponto da rede. Ou seja, este sistema de ponderação atribui um valor de substituição à energia exportada, sendo ponderada com o fator médio da rede. Este princípio também pode ser transposto para o balanço entre energia produzida e consumida. Contudo, o sistema de ponderação simétrico é válido apenas quando a exportação de energia não implica um impacto negativo na qualidade da rede. Já o sistema de ponderação assimétrico considera que a energia exportada e a energia requerida apresentam fatores de ponderação distintos, devido a que a energia produzida localmente tem um peso distinto da energia entregue pela rede ao edifício. Este sistema tem como principal objetivo contabilizar as perdas na rede e os custos de transporte considerando que $f_{pu,i}^r > f_{pu,i}^e$, ou permitir que as tecnologias de produção renovável sejam promovidas considerando o oposto ($f_{pu,i}^e > f_{pu,i}^r$).

A Diretiva 2010/31/UE, como já referido, definiu que a unidade métrica do balanço é o consumo de energia primária anual por unidade de área de pavimento útil. Embora o balanço deva ser determinado considerando «(...) fatores de energia primária ou (...) fatores de ponderação por vetor energético, que, por sua vez, podem basear-se em médias anuais e eventualmente sazonais ou mensais ponderadas, nacionais, regionais ou locais, ou em informações mais específicas disponibilizadas para cada sistema urbano»⁽⁴⁴⁾, a diretiva não define qual a metodologia a seguir para determinar o balanço. De acordo com a REHVA [7], a definição do balanço de energia deve estar baseada no conceito de energia requerida e exportada apresentado por Sartori *et al.* [8], atendendo ao sistema de ponderação simétrico, e considerando apenas o consumo de energia primária não-renovável por parte do edifício. Este é dado pela expressão (7.3), onde ΔE^{nr} é o consumo de energia primária não-renovável anual expresso em [kWh_{EP}/m²·ano]⁽⁴⁵⁾, $f_{pu,nren,i}^e$ e $f_{pu,nren,i}^r$ os fatores de ponderação de energia primária não-renovável para a energia exportada e requerida, respetivamente, fornecidas através do vetor energético i .

⁽⁴⁴⁾ Número 2 do Anexo I da Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, alterada pela Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, e pelo Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018.

⁽⁴⁵⁾ A designação “kWh_{EP}” é afeta à energia primária.

$$\Delta E^{nr} = \sum_i E_{exp,i} \cdot f_{pu,nren,i}^e - \sum_i E_{req,i} \cdot f_{pu,nren,i}^r \quad (7.3)$$

Esta definição não se adequa à realidade da maioria dos sistemas electroprodutores e redes de calor na Europa, visto que existe uma presença relevante de renováveis, e adicionalmente o balanço de energia deve ser avaliado de forma a que se determine o seu consumo de energia primária efetivo, seja ele renovável ou não-renovável. Ou seja, de acordo com a Diretiva 2010/31/UE, reformulada em 2018, o desempenho energético de um edifício deve ser expresso na utilização da energia primária total, que para o efeito «pode[-se] tomar em consideração a energia proveniente de fontes renováveis fornecida através do vetor energético e a energia proveniente de fontes renováveis gerada e utilizada no local, desde que tal se aplique numa base não discriminatória»⁽⁴⁶⁾.

Além disso, o facto de a REHVA admitir que a rede pode tratar-se de um armazém virtual dos excedentes de produção, para o cálculo do balanço de energia, não é recomendável dado a que, no caso da rede elétrica, a introdução de produção renovável variável no tempo não controlável traduz-se numa dificuldade acrescida à gestão da estabilidade do sistema electroprodutor, que se repercute quer em termos financeiros quer em termos de consumo de energia fóssil em centrais de “base load” [40]. Na atualidade, embora localmente o edifício diminua o valor de energia primária incorporada na rede, no plano nacional esse valor aumenta pelo consumo adicional de combustíveis fósseis nas centrais de garantia de potência. O sistema electroprodutor quer português quer de outros Estados-Membros da UE encontra-se em fase de transição para a implementação das redes inteligentes, sendo somente através destas que é possível coordenar recursos energéticos distribuídos de forma a evitar problemas de tensão, de qualidade da energia, congestionamentos nas linhas e inversão de fluxos [40] [41] [42]. Até lá as políticas de promoção de produção distribuída deverão acautelar a estabilidade e segurança do sistema electroprodutor [40] [41].

A metodologia portuguesa relativa ao desempenho energético em edifícios de serviços prevista pelo RECS, tem em consideração o facto mencionado acima sendo que a produção de energia renovável local é definida como aquela que é efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada pelo edifício. No RECS, o balanço de energia (IEE), expresso em kWh_{EP}/m²·ano, é definido pela soma de três indicadores parciais (expressão (7.4)): IEE_S – representa o consumo energia associado aos sistemas AVAC, à preparação de AQS, aos sistemas de iluminação interior e exteriores, aos elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes. O desempenho energético do edifício é definido atendendo a este indicador; IEE_T – representa os consumos não incluídos pelo IEE_S; e o IEE_{ren} – a produção renovável. O indicador parcial é obtido atendendo à expressão (7.5), onde $E_{x,i}$ é a energia associada a cada indicador para o vetor energético i [kWh/ano] e A_p a área de pavimento útil [m²].

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad (7.4)$$

$$IEE_x = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{x,i} \cdot f_{pu,i}) \quad (7.5)$$

Contudo, um nZEB na legislação portuguesa não é definido em termos do seu consumo total de energia primária (IEE), é considerado apenas o consumo regulado que define a classe energética do edifício, determinando que a classe energética mínima seja A para este tipo de edifícios. Ou seja, um nZEB é um edifício que apresenta um R_{IEE}⁽⁴⁷⁾ máximo de 0,50 e um IEE_S não superior a 75% do valor do IEE_{S,ref}. Esta definição não se aproxima do conceito original de nZEB ou NZEB dado a que se devem considerar todos os consumos de energia presentes no edifício como foi mencionado na secção 2.1. A legislação nacional não atenta a esse detalhe, o que resulta numa definição em termos técnico-científicos

⁽⁴⁶⁾ Número 2 do Anexo I da Diretiva 2010/31/UE na sua redação atual.

⁽⁴⁷⁾ Rácio de Classe Energética determinado de acordo com o Despacho n.º 15793-J/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia.

mais fácil de atingir. Neste caso, supondo que a produção renovável cobre somente consumos do tipo S o edifício torna-se A+, mas os consumos do tipo T continuam a existir e não permitem de todo um balanço de energia quase nulo ou nulo. A alteração ao RECS introduzida pela Portaria n.º 42/2019, de 30 de janeiro introduziu valores quantitativos que permitem definir um nZEB, no contexto legislativo português, embora seja uma definição pouco exigente face às de outros países.

Adicionalmente, o consumo de energia primária dado pelo IEE (expressão (7.4)) não traduz o consumo efetivo de energia primária pelo edifício. Isto deve-se ao facto da definição dos fatores de conversão em energia primária presentes no Despacho n.º 15793-D/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia, de 3 de dezembro, não contemplar diferentes fatores de conversão para os fluxos de energia que existem no edifício para o mesmo vetor energético atendendo à sua origem (renovável, não-renovável ou ao *mix* presente na rede de fornecimento de energia).

A transposição do conceito de *Zero Energy Buildings* para o quadro jurídico europeu não adotou, possivelmente, a designação mais adequada visto que pressupor que todos os novos edifícios e os edifícios existentes que sejam intervencionados se tornem nZEB é uma visão demasiado utópica e irrealista. A integração de produção renovável *in loco* nem sempre é possível, e mesmo quando o é, a produção passível poderá não ser suficiente para cobrir a maioria das necessidades energéticas. A Diretiva 2010/31/UE, numa próxima revisão, deverá ver revogada a adoção do conceito de nZEB ou NZEB, sugerindo-se a adoção da designação de Edifícios de Alto Desempenho Energético (EADE). Esta designação é mais flexível, possibilitando abranger simultaneamente um edifício que cumpra na integralidade os requisitos da definição original de NZEB presente na literatura, e um edifício que, embora não tenha a possibilidade de integrar produção renovável, consuma energia de forma eficiente e inteligente.

7.2. Metodologia Adotada

A metodologia relativa à determinação do consumo de energia primária e de definição de um nZEB ou NZEB presente na legislação portuguesa, mais concretamente, no RECS, necessita de uma revisão de forma a que cumpra cumulativamente a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 na sua redação atual e a Recomendação (UE) 2016/1318 da Comissão Europeia, de 29 de julho de 2016, atendendo às observações realizadas na secção 2.1 e na secção introdutiva a este capítulo.

7.2.1. Fatores de Conversão e Consumo de Energia Primária

O fator de conversão em energia primária pode ser definido como a *“razão entre a energia proveniente de fontes renováveis e não-renováveis que não passou por um processo de conversão ou de transformação, e a energia final entregue à fonte de consumo através de um dado vetor energético”*. O fator de conversão associado ao consumo direto de energia proveniente de fontes renováveis e de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não-renováveis toma o valor da unidade. A requisição de energia através de uma rede de fornecimento necessita que sejam contabilizadas as perdas associadas à sua conversão e transporte.

Os fatores de conversão em energia primária foram calculados para a eletricidade produzida pelo sistema electroprodutor português e para o sistema de produção auxiliar⁽⁴⁸⁾ presente no cenário de operação de Produção *Off-grid*. No caso da eletricidade fornecida pela rede o seu fator de conversão foi determinado atendendo aos balanços energéticos nacionais de energia primária [43], ao consumo de energia elétrica líquido e à sua desagregação por fonte de produção [44] [45], para o período de 2013 a 2017 com o objetivo de diluir os efeitos da variabilidade da hidraulicidade. Já para o sistema auxiliar, o fator de conversão foi calculado atendendo ao consumo de combustível anual, dado pelo *HOMER Pro*®

⁽⁴⁸⁾ Gerador de motor de combustão interna.

que considera um poder calorífico inferior de 35,424MJ/L para o *biodiesel*, e à energia elétrica produzida por este em cada cenário de consumo. Embora esteja previsto só a utilização de *biodiesel*, pretende-se verificar qual o impacto de adotar este combustível em detrimento do gasóleo nos indicadores de desempenho energético.

Os fatores de conversão em energia primária calculados apresentam-se na Tabela 7.1, assim como, a fração de energia renovável incorporada no consumo final de energia elétrica e no consumo de energia primária para a produção de energia elétrica.

Tabela 7.1 – Fatores de Conversão em Energia Primária ($f_{pu,i}$) e Fração de Energia Renovável incorporada no consumo final de energia elétrica ($f_{ren,f}^r$) e no consumo de energia primária para produção de energia elétrica ($f_{ren,p}^r$).

RECURSO ENERGÉTICO		$f_{pu,i}$	$f_{ren,f}^r$	$f_{ren,p}^r$
Eletricidade	Rede (mix)	1,71	0,524	0,378
	Rede (não-renovável)	2,23	0,00	0,00
	Rede (renovável)	1,23	1,00	1,00
	Renovável Local ⁽⁴⁹⁾	1,00	1,00	1,00
	Gerador Diesel (AVAC)	3,63	0,00	0,00
	Gerador Diesel (Híbrido i)	3,97	0,00	0,00
	Gerador Diesel (Híbrido ii)	3,67	0,00	0,00
Energia Térmica Renovável		1,00	-	-
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos		1,00	-	-

Os fatores de conversão relativos à rede elétrica adotados pela legislação portuguesa podem facilmente ser atualizados bianualmente por despacho do diretor da Direção-Geral de Energia e Geologia, visto que é a Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística desta Direção-Geral que produz todos os dados necessários para o seu cálculo. Com a publicação regular destes fatores as estatísticas relativas ao consumo dos edifícios seriam mais fidedignas.

O consumo de energia primária num edifício de forma geral pode ser dado pela expressão (7.6), onde para além de se ter em consideração o tipo de vetor energético, deve-se ter atenção à origem desse vetor energético de forma a apurar o consumo efetivo de energia primária ($E_{c,p}$). O facto de se aplicar fatores de conversão atendendo à origem da energia e à forma como é entregue para o mesmo vetor energético, permite analisar o verdadeiro impacto da introdução de produção renovável *in loco*. Este sistema de ponderação traduz-se no sistema assimétrico, enunciado por Sartori *et al.* [8], que, contudo, pretende traduzir o consumo real de energia primária do edifício considerando os sistemas de produção de energia como um todo e não apenas como a parte não-renovável.

$$E_{c,p} = \sum_i (E_{c,i} \cdot f_{pu,i}) \quad (7.6)$$

O balanço energético efetivo de um edifício ($\Delta E_{c,p}$) traduz a quantidade de energia primária requerida, ou seja, traduz a quantidade de energia primária importada para o interior da fronteira de ação do edifício independentemente da sua origem. Este indicador quantifica em termos absolutos as necessidades energéticas anuais que têm de ser supridas com recurso a sistemas auxiliares ou à rede de fornecimento de energia. O balanço energético efetivo é dado pela expressão (7.7), onde $E_{prod,i}$ representa

⁽⁴⁹⁾ Para efeitos da definição dos fatores de conversão de energia primária, entende-se por renovável local a fonte energética que permita a sua captação e distribuição diretamente na rede de fornecimento do edifício (solar, eólica e mini-hídrica, por exemplo). Todas as outras fontes que envolvam processos de extração, recolha e transporte (biomassa e biocombustíveis, por exemplo), deverão considerar um fator de conversão próprio onde esteja refletido a eficiência do sistema de produção de energia final que recorre a este tipo de fontes.

exclusivamente a produção renovável local que é efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada pelo edifício, não podendo ser contabilizada aquela que é exportada.

$$\Delta E_{c,p} = \sum_i (E_{c,i} \cdot f_{pu,i}) - \sum_i (E_{prod,i} \cdot f_{pu,i}) \quad (7.7)$$

Como já referido, a exportação de energia pode influenciar negativamente o desempenho do sistema de produção a nível nacional, para além de que não impede que o edifício consuma energia de origem fóssil. No entanto, a exportação dos excedentes já se encontra contabilizada nos fatores de conversão de âmbito nacional (caso português) ou regional, dado a que todos os sistemas de produção renovável estão obrigados a comunicar ao operador da rede de distribuição a produção introduzida nesta.

A transposição desta forma de cálculo para o RECS implica uma segunda desagregação do consumo de energia, ou seja, para além da classificação do tipo de consumo S ou T, estes deverão ser classificados atendendo ao tipo de vetor energético e à sua origem da energia.

7.2.2. Fração Renovável

Embora o balanço energético efetivo traduza a dependência energética externa do edifício, não permite evidenciar a penetração renovável local e a global. A penetração renovável é avaliada pela fração renovável local ($F_{ren,l}$), que se define como o rácio entre a produção local, que é efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada, e o consumo total do edifício devidamente ponderados (expressão (7.8)).

$$F_{ren,l} = \frac{\sum_i (E_{prod,i} \cdot f_{pu,i})}{\sum_i (E_{c,i} \cdot f_{pu,i})} \times 100 \quad (7.8)$$

Este indicador é crucial na corroboração do desempenho energético do edifício, sendo que poderá ser utilizado na definição do que se entende por um EADE e um EADE nZEB. A classe energética de um edifício atualmente indica se este consome energia de forma eficiente, não sendo possível através da mesma avaliar o desempenho do edifício em termos do seu consumo total de energia. Com a introdução do conceito de fração renovável local é possível distinguir edifícios que apresentem a mesma classe energética alcançada com estratégias distintas, como a introdução de renováveis ou simplesmente pela adoção de princípios de construção bioclimática. Ou seja, é possível distinguir edifícios atendendo à sua dependência energética externa.

Atualmente um nZEB é definido no RECS em função do edifício de referência, não permitindo evidenciar qual a dependência energética externa do edifício em estudo. Tratando-se este tipo de edifícios como “agentes” de promoção de consumo racional e de utilização inteligente da energia, sugere-se que um nZEB seja definido como um edifício que apresenta uma incorporação renovável local em termos homólogos à dependência energética externa no setor dos edifícios a nível nacional. Ou seja, deverá ser considerado um EADE nZEB o edifício que apresenta uma classe energética superior ou igual a A e uma fração renovável local não inferior a 85%⁽⁵⁰⁾ ⁽⁵¹⁾. Enquanto que para uma fração renovável superior ou igual a 98,5% o edifício poderá ser considerado como NZEB, atendendo a uma margem de 1,5% que permite conter a variabilidade da disponibilidade do recurso renovável. Contudo, os edifícios com classe energética superior ou igual a A, mas com uma fração renovável local inferior a 85% deverão ser classificados como EADE. A designação EADE não abrange edifícios com classe energética inferior a A, ou seja, com um R_{IEE} superior a 0,50 são classificados como “Não-EADE”.

Como tal, sugere-se que para além da classe energética seja implementada uma classificação complementar baseada no conceito de fração renovável local com o objetivo de avaliar o desempenho

⁽⁵⁰⁾ Dependência externa do setor dos edifícios a nível nacional de acordo com os balanços energéticos [43] e os indicadores energéticos [45] publicados pela Direção-Geral de Energia e Geologia para o período de 2013 a 2017.

⁽⁵¹⁾ A definição dos 85% também teve atenção ao intervalo sugerido por Boermans *et al.* [64].

7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO GLOBAL DO EDIFÍCIO

global dos edifícios e que permita clarificar o tipo de edifício. Na Tabela 7.2 propõem-se os intervalos de fração renovável local que definem o tipo de edifício EADE, assim como a classe de desempenho global.

Tabela 7.2 – Classificação proposta para o desempenho global do edifício definido em termos da fração renovável local.

Valor de Fração Renovável Local	Classificação Complementar	
	Classe de Desempenho Global	Tipo de Edifício EADE
$F_{ren,l} \geq 98,5\%$	A+++	NZEB
$90\% \leq F_{ren,l} < 98,5\%$	A++	nZEB+
$85\% \leq F_{ren,l} < 90\%$	A+	nZEB
$70\% \leq F_{ren,l} < 85\%$	A	6+
$60\% \leq F_{ren,l} < 70\%$	B	5+
$50\% \leq F_{ren,l} < 60\%$	B-	4+
$40\% \leq F_{ren,l} < 50\%$	C	3+
$25\% \leq F_{ren,l} < 40\%$	D	2+
$15\% \leq F_{ren,l} < 25\%$	E	1+
$F_{ren,l} < 15\%$	F	1-

Nas figuras abaixo apresenta-se a sugestão gráfica de apresentação do sistema de classificação conjunto, estando na Figura 7.1 a composição gráfica que deverá constar nos certificados energéticos do edifício enquanto na Figura 7.2 está a etiqueta de classe conjunta a constar em anúncios ou no relatório síntese de desempenho energético a afixar à entrada de edifícios públicos.

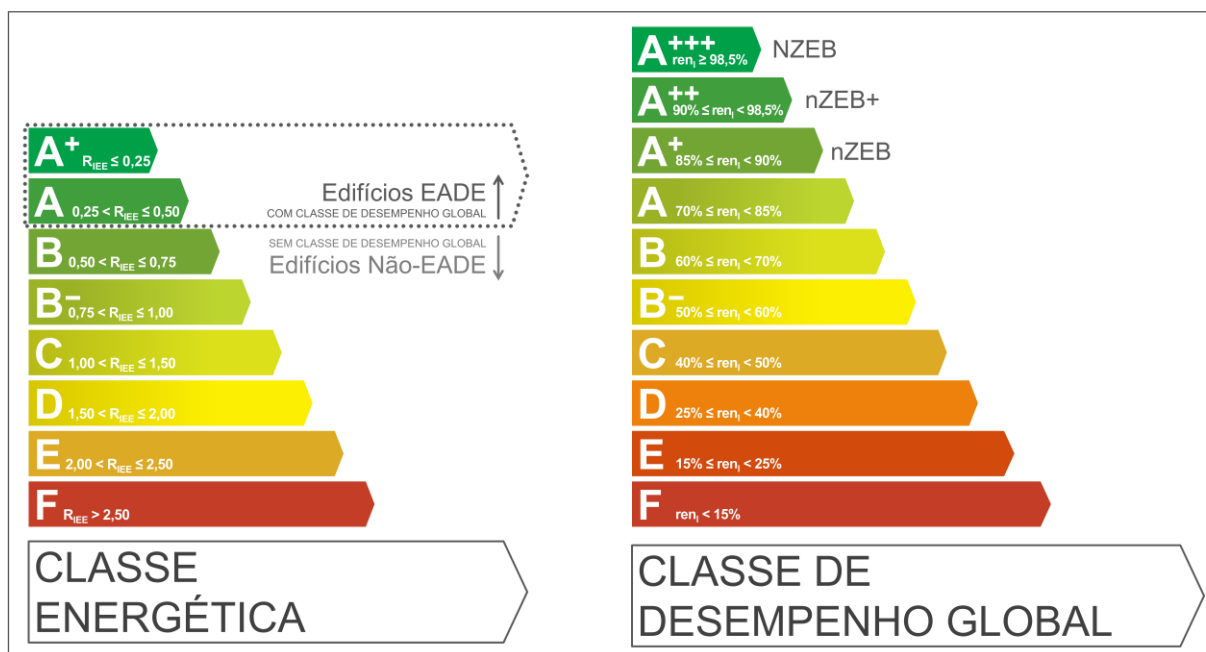


Figura 7.1 – Etiqueta de Classe Energética e de Classe de Desempenho Global dos edifícios a constar no certificado energético.

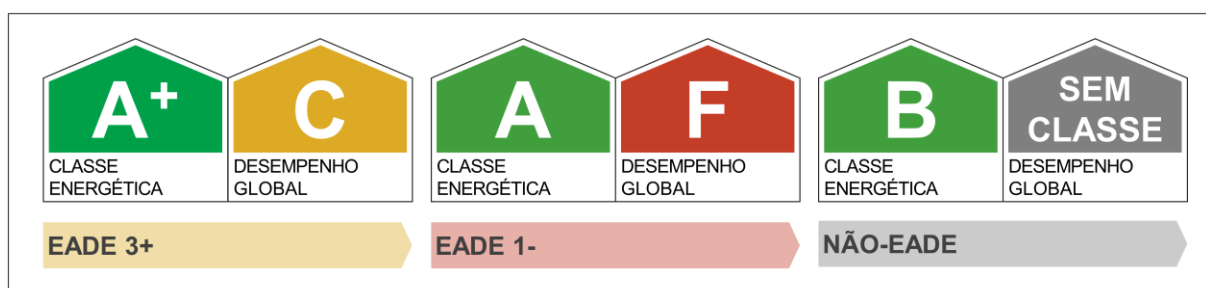


Figura 7.2 – Exemplo etiquetas de Classe Energética e de Classe de Desempenho Global a constar em anúncios de promoção de venda imobiliária para três tipos de edifícios.

Para além da definição da fração renovável local, foi definida a fração renovável global que para além de contemplar a produção local, considera a parte renovável presente na energia requerida pelo edifício ao exterior (expressão (7.9)), cujo o fim é avaliar a contribuição da produção renovável externa ao edifício.

$$F_{ren,g} = \frac{\sum_i (E_{prod,i} \cdot f_{pu,i}) + f_{ren,p}^r \cdot \sum_i (E_{req,i} \cdot f_{pu,i})}{\sum_i (E_{c,i} \cdot f_{pu,i})} \times 100 \quad (7.9)$$

7.3. Indicadores de Desempenho Energético

Os resultados relativos ao desempenho energético do edifício ESNE atendendo à metodologia de cálculo prevista atualmente no RECS, e considerando os fatores de conversão em energia primária fixados no Despacho n.º 15793-D/2013 da Direção-Geral de Energia e Geologia, encontram-se na Tabela 7.3. Para o cenário de operação surgem dois valores possíveis para o mesmo indicador dado a que os valores à esquerda da barra referem-se à utilização de gasóleo no sistema auxiliar, enquanto os valores à direita da barra referem-se à utilização de *biodiesel*.

Na determinação das necessidades anuais de energia para climatização previstas pelo indicador IEEs, de acordo com o RECS, «as pontes térmicas lineares podem ser consideradas mediante majoração global, em 5%, das necessidades de aquecimento do edifício»⁽⁵²⁾, no entanto esta consideração foi aplicada exclusivamente aos valores que se apresentam na Tabela 7.3, visto que o efeito das pontes térmicas lineares é desprezável dado às zonas de pilares diferirem no máximo em 0,06W/m²·K da zona corrente.

Tabela 7.3 – Indicadores de desempenho energético determinados de acordo com a metodologia atual do RECS.

CENÁRIO	INDICADOR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO RECS ^(a) [kWh _{EP} /m²·ano]						
	^(a) IEE _{S,ref}	^(a) IEE _S	^(a) IEE _T	^(a) IEE _{S+T}	^(a) IEE _{ren}	^(a) IEE	^(a) R _{IEE}
AVAC							
Base	108,3	53,6	70,2	123,8	0,0	123,8	0,50
Rede+Produção <i>On-grid</i>	108,3	53,6	70,2	123,8	69,0	54,8	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	108,3	53,6	70,2	123,8	95,9	27,9	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	108,3	54,7	71,6	126,3	118,2 / 126,3	8,1 / 0,0	0,0
HÍBRIDO i							
Base	108,3	51,4	70,2	121,6	0,0	121,6	0,48
Rede+Produção <i>On-grid</i>	108,3	51,4	70,2	121,6	68,4	53,2	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	108,3	51,4	70,2	121,6	86,6	35,0	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	108,3	52,8	72,0	124,8	116,0 / 124,8	8,8 / 0,0	0,0
HÍBRIDO ii							
Base	108,3	43,5	70,2	113,6	0,0	113,6	0,40
Rede+Produção <i>On-grid</i>	108,3	43,5	70,2	113,6	65,0	48,7	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	108,3	43,5	70,2	113,6	82,2	31,4	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	108,3	44,1	71,2	113,6	110,0 / 115,3	5,3 / 0,0	0,0

⁽⁵²⁾ Tabela I.04 do Anexo I da Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro na sua redação atual.

7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO GLOBAL DO EDIFÍCIO

Da análise da tabela acima, resulta que o edifício ESNE pertence à classe energética A sem a introdução de produção renovável para todos os cenários de consumo, pois o rácio de classe energética é igual ou inferior a 0,50 mas não inferior ou igual a 0,25. Adicionalmente verifica-se que o valor para o IEE_S é inferior a 75% do $IEE_{S,ref}$ para os três cenários de consumo, e que de acordo com RECS este edifício é classificado como um nZEB, sem que apresente um balanço energético perto de zero ou reduzido. A introdução de produção renovável permite atingir imediatamente a classe energética A+ ($R_{IEE} \leq 0,25$), obtendo-se um IEE nulo apenas no cenário de operação *Off-grid*.

A Tabela 7.4 apresenta os mesmos indicadores previstos pelo RECS presentes na Tabela 7.3, no entanto calculados com a metodologia adotada. Comparando as duas tabelas, verifica-se que as diferenças residem essencialmente nos valores que refletem o consumo de energia primária efetivo e o balanço energético efetivo, sendo que estes valores para além de variarem com o cenário de consumo também variam atendendo ao *mix* de fontes que fornecem o edifício em cada cenário de operação.

Tabela 7.4 – Indicadores de desempenho energético determinados de acordo com a metodologia adotada.

CENÁRIO	INDICADOR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO RECS-rev ^(a) [kWh _{EP} /m ² ·ano]						
	^(a) $IEE_{S,ref}$	^(a) IEE_S	^(a) IEE_T	^(a) IEE_{S+T} ($E_{c,p}$)	^(a) IEE_{ren} ($E_{prod,p}$)	^(a) IEE ($\Delta E_{c,p}$)	R_{IEE}
AVAC							
Base	73,3	36,2	47,9	84,1	0,0	84,1	0,49
Rede+Produção <i>On-grid</i>	73,3	27,9	36,8	64,7	27,5	37,3	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	73,3	24,6	32,5	57,1	38,2	19,0	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	73,3	23,7 / 21,2	31,4 / 28,1	55,1 / 49,3	47,1 / 49,3	8,0 / 0,0	0,0
HÍBRIDO i							
Base	73,3	34,8	47,9	82,7	0,0	82,7	0,47
Rede+Produção <i>On-grid</i>	73,3	26,7	36,7	63,4	27,3	36,0	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	73,3	24,5	33,7	58,2	34,6	23,6	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	73,3	22,8 / 20,4	31,4 / 28,1	54,3 / 48,4	46,2 / 48,4	8,0 / 0,0	0,0
HÍBRIDO ii							
Base	73,3	29,5	47,9	77,4	0,0	77,4	0,40
Rede+Produção <i>On-grid</i>	73,3	22,5	36,5	59,0	26,0	33,0	0,0
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	73,3	20,6	33,5	54,1	32,9	21,3	0,0
Produção <i>Off-grid</i>	73,3	18,7 / 17,3	30,4 / 28,1	49,1 / 45,3	43,9 / 45,3	5,2 / 0,0	0,0

Na Figura 7.3 apresenta-se a variação da produção renovável local em função do consumo de energia primária atendendo à metodologia do RECS e à metodologia adotada. Verifica-se que a introdução de produção renovável para o mesmo cenário de consumo, considerando a metodologia do RECS, não altera o consumo de energia primária base, excetuando no cenário de operação em que é introduzida a produção de energia através de gásóleo ou de *biodiesel*. Ou seja, a aproximação à linha NZEB decorre unicamente no sentido ascendente. Contudo, analisando o caso em que é utilizada a metodologia adotada, a introdução de produção renovável reduz o consumo de energia primária que implica que a aproximação à linha NZEB decorra através dos dois eixos do gráfico, ou seja, no sentido ascendente para o eixo da produção e no sentido da origem para o eixo do consumo.

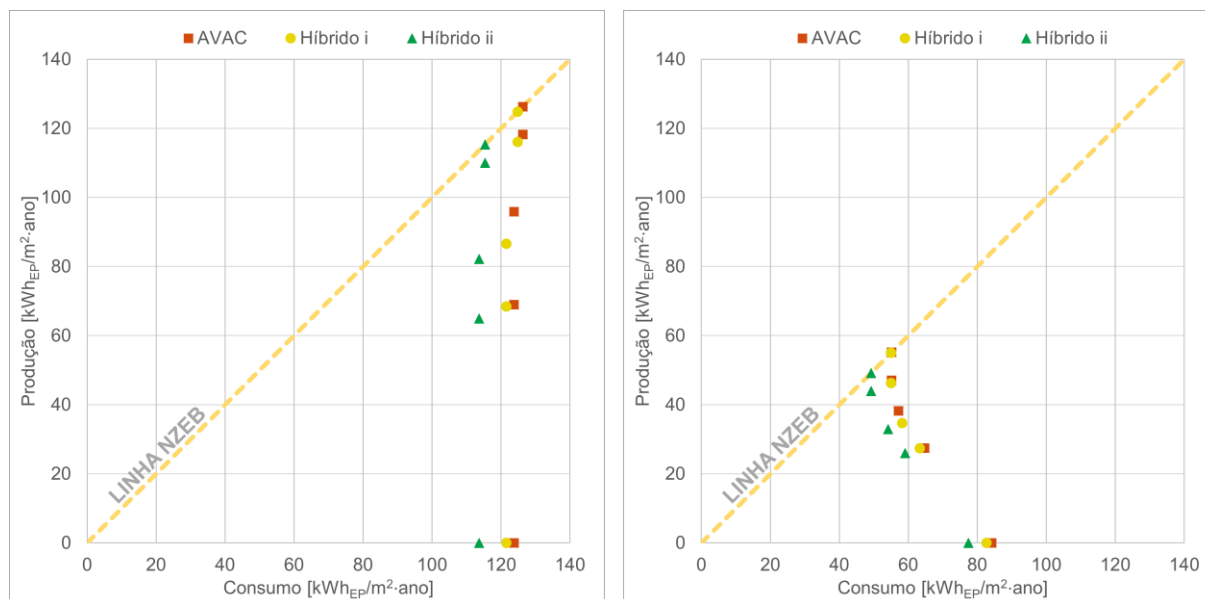





























Figura 7.3 – Produção renovável local em função do consumo de energia primária para os cenários de consumo e de operação atendendo à metodologia do RECS atual (esquerda) e à metodologia adotada (direita).

Na Tabela 7.5 apresenta-se a fração renovável local e global e a classe de desempenho global determinada de acordo com a classificação proposta na Tabela 7.2. Com a aplicação do sistema de classificação conjunto verifica-se que de facto o edifício ESNE no cenário de operação base nos três cenários não se trata de um nZEB, como previsto pelo RECS, mas sim de um Edifício de Alto Desempenho Energético (EADE). A introdução de produção renovável permite melhorar o desempenho global do edifício ESNE, sendo que só é possível ser classificado como nZEB ou muito próximo de tal quando este opera em regime *Off-grid*. O patamar NZEB é atingindo quando o sistema auxiliar do edifício recorre ao *biodiesel* produzido a partir de óleos alimentares usados.

Tabela 7.5 – Fração Renovável Local e Global, Classe Energética e Classe de Desempenho Global do edifício ESNE para todos os cenários de consumo e de operação.

CENÁRIO	$F_{ren,l}$ Fração Renovável Local	$F_{ren,g}$ Fração Renovável Global	Classe Energética	Classificação Complementar	
				Classe de Desempenho Global	Tipo de Edifício
AVAC					
Base	0,0%	37,8%			EADE 1-
Rede+Produção <i>On-grid</i>	42,4%	64,2%			EADE 3+
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	66,8%	79,4%			EADE 5+
Produção <i>Off-grid</i>	85,4% / 100,0%	85,4% / 100,0%		 / 	nZEB / NZEB
HÍBRIDO i					
Base	0,0%	37,8%			EADE 1-
Rede+Produção <i>On-grid</i>	43,1%	64,7%			EADE 3+
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	59,5%	74,8%			EADE 4+
Produção <i>Off-grid</i>	84,1% / 100,0%	84,1% / 100,0%		 / 	EADE 6+ / NZEB
HÍBRIDO ii					
Base	0,0%	37,8%			EADE 1-
Rede+Produção <i>On-grid</i>	44,0%	65,2%			EADE 3+
Rede+Produção <i>Off-grid</i>	60,7%	75,6%			EADE 5+
Produção <i>Off-grid</i>	89,3% / 100,0%	89,3% / 100,0%		 / 	nZEB / NZEB

8. Conclusões

A revisão ao conceito de NZEB permitiu evidenciar as falhas existentes na legislação relativa ao desempenho energético de edifícios quer do quadro europeu quer do quadro nacional, destacando-se no âmbito nacional o facto de não se contemplarem diferentes fatores de conversão em energia primária para os fluxos de energia que existem num edifício para o mesmo vetor energético atendendo à sua origem (renovável, não-renovável ou o *mix* energético da rede de fornecimento), e o *lapsus memoriae* por parte do legislador relativamente à definição ambígua do conceito de fronteira de ação do edifício presente no RECS, mas descrita em detalhe no RPD (Regime de Produção Distribuída).

Os princípios bioclimáticos presentes no edifício ESNE aliados às medidas de eficiência energética adotadas para os sistemas de iluminação e de climatização, permitem oferecer um conforto aos seus ocupantes com um consumo de energia inferior entre 51,4% e 60,7% face aos sistemas técnicos do edifício de referência, para o cenário de consumo AVAC e Híbrido ii respetivamente.

A simulação do sistema natural não permitiu cumprir os objetivos inerentes ao ensaio realizado no túnel de vento, não sendo possível com o trabalho desenvolvido nesta tese concluir qual o impacto das urbanizações vizinhas na qualidade do sistema de ventilação natural implementado no edifício ESNE. Conclui-se que o facto de os resultados para o meio urbanizado e para o meio não urbanizado serem tão similares, possivelmente, deve-se a que o *Airflow Network* poderá apresentar fragilidades em simular modelos multizonas mais complexos. Contudo, a base de dados de c_p resultante dos ensaios em túnel de vento será útil na componente de projeto de estabilidade estrutural do edifício, mais especificamente no âmbito do revestimento exterior.

A integração de produção renovável demonstrou-se ser economicamente mais viável em regime de Produção *Off-grid* utilizando como sistema de apoio um gerador de motor de combustão interna, face aos outros cenários de operação em que é utilizada a rede como sistema auxiliar, onde para além dos custos com a aquisição da energia elétrica o produtor tem a obrigatoriedade de compensar o Sistema Elétrico Nacional com o pagamento de uma parcela dos custos de interesse económicos e geral num período de 10 anos e de realizar um seguro de responsabilidade civil. Adicionalmente, o edifício ESNE só consegue atingir o balanço nulo ou parcialmente nulo⁽⁵³⁾ quando opera em regime isolado, indicando que o atual RPD coloca em causa a definição de nZEB sugerida ou a definição de NZEB presente na literatura quer em termos económicos quer em termos técnicos.

A adoção do conceito de edifícios EADE em substituição do conceito ambíguo de nZEB introduzido pela Diretiva 2010/31/UE, na sua redação atual, tornará mais clara a classificação do tipo de edifícios dado a abranger simultaneamente um edifício que cumpra integralmente os requisitos da definição original de NZEB presente na literatura, e um edifício que, embora não tenha a possibilidade de integrar produção renovável, consuma energia de forma eficiente e inteligente.

A introdução do novo sistema de classificação de desempenho energético para os edifícios, corroborado pela metodologia sugerida para o cálculo do consumo efetivo de energia primária e para a fração renovável local, irá permitir uma visão real da dependência energética dos edifícios, impossibilitando que edifícios que apresentem uma produção renovável nula sejam classificados como nZEB.

Como trabalho futuro, sugere-se a verificação da eficácia do sistema de ventilação do edifício ESNE e o impacto das urbanizações na qualidade do mesmo, utilizando o *EnergyPlus®* como *software* de simulação dinâmica dos processos de transferência de calor acoplado ao *software* CONTAM® para simulação da ventilação natural e de difusão dos contaminantes no ar interior. Paralelamente poderá ser estudado qual o impacto da flexibilização e adequação do consumo de energia do edifício à disponibilidade do recurso renovável, em termos económicos e do desempenho global do edifício.

⁽⁵³⁾ Quando é utilizado gasóleo ao invés de *biodiesel* no gerador de apoio.

Após a edificação do ESNE, dado a estar prevista a instalação de um sistema de monitorização e de controlo global dos sistemas técnicos do edifício, os resultados do sistema de monitorização deverão ser utilizados na validação do modelo de simulação de forma a assegurar que o dimensionamento do sistema de produção renovável seja o mais adequado ao perfil de consumo real.

9. Referências

- [1] **Eurostat, Statistical Office of the European Union.** *Energy, transport and environment indicators. Eurostat Statistical Books 2017.* Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. ISBN 978-92-79-74192-0.
- [2] **Esbensen, T.V. e Korsgaard, V.** Dimensioning of solar heating system in the zero energy house in Denmark. *Solar Energy.* 1977, Vol. 19, pp. 195-199.
- [3] **Marszal, A. J. e Heiselberg, P.** A Literature Review of Zero Energy Buildings (ZEB) Definitions. *DCE Technical Report n.º78.* Aalborg : Aalborg University, 2009.
- [4] **Laustsen, J.** *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings.* Paris : OECD/IEA, 2008.
- [5] **Torcellini, P., et al.** Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *National Renewable Energy Laboratory (NREL).* [Online] 2006. [Citação: 18 de 02 de 2018.] <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>.
- [6] **Agostino, Delia.** Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States. *Journal of Building Engineering.* 2015, Vol. 1, pp. 20-32.
- [7] **REHVA, Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations.** *REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings. 2013 revision for uniformed national implementation of EPBD recast prepared in cooperation with European standardization organization CEN.* [ed.] J. Kurnitski. Brussels : REHVA, 2013.
- [8] **Sartori, I., Napolitano, A. e K. Voss.** Net zero energy buildings: a consistent definition framework. *Energy and Buildings.* 2012, Vol. 48, pp. 220-232.
- [9] *Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Building Projects.* **Musall, E., et al.** Graz : s.n., 2010. EuroSun Conference 2010. pp. 7-8.
- [10] **Musall, E.** Map of NZEB projects Worlwide - Research for Energy Optimized Building. *Project Map.* [Online] 12 de 2013. [Citação: 17 de 02 de 2018.] <https://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings>.
- [11] **LNEG, Laboratorio Nacional de Energia e Geologia I.P.** *SOLAR XXI, em direção à energia zero.* [ed.] G. Helder. Lisboa : LNEG, I.P., 2010.
- [12] **Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.** O Clima. Normais Climatológicas. [Online] IPMA, I.P., 2011. [Citação: 2 de abril de 2019.] <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>.
- [13] **Aguar, R.** Clima. CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios. [Online] Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., 16 de maio de 2013. [Citação: 26 de fevereiro de 2018.] <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>.

- [14] **Gonçalves, H e Graça, J.** *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa : Direcção-Geral de Geologia e Energia, 2004. 972-8268-34-3.
- [15] **Solar Radiation Monitoring Laboratory.** Sun path chart program. [Online] University of Oregon, 5 de março de 2007. [Citação: 20 de setembro de 2016.] <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>.
- [16] **European Comission - Directorate-General of Environment.** *Green Public Procurement. Indoor Lighting*. Brussels : European Comission, 2011. Technical Background Report.
- [17] **ASHRAE.** Charpter 27: Ventilation and Infiltration. *ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)*. s.l. : ASHRAE, 2005, pp. 27.5-27.12.
- [18] **Yi, Q., Yi, Zhang, G., Konig, M., Janke, D., Hempel, S. e Amon, T.** *Investigation of Discharge Coeficient for Wind-driven Naturally Ventilated Dairy Barns*. Energy and Buildings, Vol. 165, pp. 132-140, 2018.
- [19] **Yang, C., Shi, H., Yang, X. e Zhao, B.** *Research on Flow Resistance Characteristics with Different Window/Door Opening Angles*. s.l. : ASHRAE, HVAC&R Research, Vols. 16, N.º 6, pp. 813-824, 2010.
- [20] **Lawrence Berkeley National Laboratory.** *EnergyPlus Engineering Reference*. Building Technology and Urban Systems Division. Berkeley : U. S. Department of Energy, 2016.
- [21] **Anderson, J. D.** *Fundamentals of Aerodynamics*. 5.^a. New York : McGraw-Hill, 2011. pp. 233-235; 1061-1063. 978-0-07-339810-5.
- [22] **Instituto Português da Qualidade, I.P.** *NP-EN199-1-4-2010. Eurocódigo 1 - Ações em Estruturas. Ações Gerais - Ações do Vento*. CT 115 (LNEC). Caparica : Instituto Português da Qualidade, I.P., 2010.
- [23] **BSI, Instituição de Normas Britânicas.** *Janelas e portas. Permeabilidade ao ar. Classificação. EN12207*. Londres : BSI, 2000.
- [24] **Lawrence Berkeley National Laboratory.** *EnergyPlus Input Output Reference*. Building Technology and Urban Systems Division. Berkeley : U.S. Department of Energy, 2016.
- [25] **Divisão do Planeamento Urbanístico da Câmara Municipal de Serpa.** Editais da Câmara Municipal e da Assembleia Municipal. Edital referente à primeira alteração ao loteamento da Zona de Atividades económicas de Vila Nova de São Bento. Planta Síntese. [Online] 6 de julho de 2016. [Citação: 15 de maio de 2018.] http://www.cm-serpa.pt/ficheiros/2_plantaalteracaoZAEvilanova.pdf.
- [26] **Oficina de Arquitetura da Câmara Municipal de Serpa.** *Plano de Urbanização de Vila Nova de São Bento*. Serpa : Câmara Municipal de Serpa, 2013.
- [27] **Golden Software.** A Basic Understanding Of Surfer Gridding Methods – Part 1. [Online] Golden Software Support Surfer, 18 de novembro de 2018. [Citação: 8 de fevereiro de 2019.] <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/articles/231348728-A-Basic-Understanding-of-Surfer-Gridding-Methods-Part-1>.

- [28] **TDA, Técnicas do Ar.** Equipamentos para Difusão do Ar. [Online] [Citação: 15 de julho de 2018.] <https://www.tda.pt/grelhas/img/catalogo-difusao-de-ar.pdf>.
- [29] **Antunes, A. M., Marques Gomes, C. e Monge Palma, R.** *Eficiência em Ciências, Qualidade da Energia e Eficiência Energética no C8 (PISO2)*. Lisboa : Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2016. Projeto de Licenciatura.
- [30] **M. Mateus, N., Pinto, A. e Carrilho da Graça, G.** *Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally naturally and mechanically ventilated test cell*. Energy and Buildings, vol. 75, pp. 511-522, 2014.
- [31] **Daikin Europe.** *Product profile. VRV IV 360° efficiency. Heat recovery, heat pump, replacement*. Belgium : Daikin Europe, 2015.
- [32] **Martins, N. e Carrilho da Graça, G.** *Impact of outdoor PM2.5 on natural ventilation usability in California's nondomestic buildings*. Applied Energy, vol. 189, pp. 711-724, 2017.
- [33] **Comissão Técnica de Normalização Eletrotécnica (CTE 64) / Direção-Geral de Energia e Geologia.** *Esquemas Tipo de Unidades de produção para Autoconsumo (UPAC) com Tecnologia Solar Fotovoltaica Versão Preliminar*. Lisboa : Direção-Geral de Energia e Geologia, 2015.
- [34] **Lima Morais, J.** *Sistemas Solares Fotovoltaicos da Teoria à Prática*. Porto : Engebook, 2009.
- [35] **Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística da DGEG.** Estrutura de Preços do Gasóleo e Gasolina 95, em Portugal Continental. [Online] 2019. [Citação: 26 de fevereiro de 2019.] <http://www.dgeg.gov.pt?cr=13648>.
- [36] **Camilo F., M., Castro, R., Almeida, M. e Fernão Pires, V.** *Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal*. Solar Energy, vol. 150, pp. 353-362, 2017.
- [37] **Castro, R.** *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica*. Lisboa : IST Press, 2011. pp. 29-47.
- [38] **Banco de Portugal.** Portal do Cliente Bancário. Taxas de Juro no Crédito aos Consumidores. [Online] 2019. [Citação: 21 de fevereiro de 2019.] <https://cliente.bancario.bportugal.pt/pt-pt/taxas-de-juro-no-credito-aos-consumidores>.
- [39] **Fundação Francisco Manuel dos Santos.** Taxa de Inflação (Taxa de Variação do Índice de Preços no Consumidor). *PORDATA - Estatísticas, gráficos e indicadores de Municípios, Portugal e Europa*. [Online] 8 de fevereiro de 2019. [Citação: 21 de fevereiro de 2019.] [https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Infla%C3%A7%C3%A3o+\(Taxa+de+Varia%C3%A7%C3%A3o+do+%C3%8Dndice+de+Pre%C3%A7os+no+Consumidor\)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315](https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Infla%C3%A7%C3%A3o+(Taxa+de+Varia%C3%A7%C3%A3o+do+%C3%8Dndice+de+Pre%C3%A7os+no+Consumidor)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315).
- [40] **KEMA Lda.** *Study on the Impact of Distributed Generation on the National Electricity System*. Lisboa : KEMA Lda., 2011. Parecer Técnico requerido pela ERSE.

- [41] **Matos, M, Peças Lopes, J., Madureira, A., Gouveia, C. e Barbeiro, P.** *O impacto do autoconsumo na rede elétrica/Smart Grid*. Porto : INESC TEC, 2015. Apresentação realizada no Seminário APESF: O autoconsumo e sua envolvente de 29 de janeiro de 2015.
- [42] **Franco Viveiros, P.** *Estudo do Impacto da Produção Distribuída numa Rede de Baixa Tensão*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2018. Tese de Mestrado.
- [43] **Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística da DGEG.** *Balanços Energéticos*. [Online] novembro de 2018. [Citação: 28 de fevereiro de 2019.] <http://www.dgeg.gov.pt?cn=6891700270677156AAAAAAA>.
- [44] **Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística da DGEG.** *Energia Elétrica, Produção e Consumos*. [Online] outubro de 2018. [Citação: 28 de fevereiro de 2019.] <http://www.dgeg.gov.pt?cn=6891700270718611AAAAAAA>.
- [45] **Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística da DGEG.** *Indicadores Energéticos*. [Online] outubro de 2018. [Citação: 28 de fevereiro de 2019.] <http://www.dgeg.gov.pt?cr=15746>.
- [46] **Pina dos Santos, C. e Matias, L.** *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. ITE50*. 21.ª edição, 2015. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., 2006. 678-972-49-2065-8.
- [47] **Incropera, F. P., et al.** *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7.ª. s.l. : John Wiley and Sons, Inc., 2011. pp. 989-994, 1010. 978-0470-50197-9.
- [48] **Neila González, F. Javier.** *Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible*. Madrid : Editorial Munilla-Lería, 2004. pp. 376-380. 9788489150645.
- [49] **Artebel, Artefactos de Betão S.A.** Delacração de Desempenho N.º BTA-02. [Online] 14 de abril de 2015. [Citação: 25 de 11 de 2017.] https://www.artebel.pt/uploads/website_artebel/ficheiros/5bd6e7369e6c4177010234.pdf.
- [50] **Artebel, Artefactos de Betão S.A.** Declaração de Desempenho FREE. [Online] 12 de junho de 2015. [Citação: 25 de 11 de 2017.] https://www.artebel.pt/uploads/website_artebel/ficheiros/5bd6e75e6d6c0442610972.pdf.
- [51] **MUNDIPERFIL, DISTRIBUIÇÃO Lda.** Ficha Técnica de Pannel de Fachada de Fixação Oculta. [Online] setembro de 2015. [Citação: 25 de 11 de 2017.] <http://mundiperfil.pt/fichaspdf/FICHAMF1000LR.pdf>.
- [52] **Saint-Gobain Glass Portugal, S.A.** *Manual do Vidro*. Santa Iria da Azóia : Saint-Gobain Glass Portugal, S.A., 2008.
- [53] **Lawrence Berkeley National Laboratory.** International Glazing Database. IGDB Software Downloads. [Online] 20 de fevereiro de 2018. [Citação: 5 de abril de 2018.] <https://windows.lbl.gov/tools/IGDB/software-download>.

- [54] **Lawrence Berkeley National Laboratory.** *EnergyPlus Reference Data Set for Window Shades*. Berkeley : U.S. Department of Energy, Building Technology and Urban Systems Division, 2011.
- [55] **Aguilar, R.** *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios*. Lisboa : Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., 2013. Relatório para a ADENE, Agência para a Energia.
- [56] **Benson, J.** *Boundary-layer response to a change in surface roughness*. Reading : University of Reading, 2005. Tese de Mestrado.
- [57] **Troen, I. e Lundtang Petersen, E.** *European Wind Atlas*. Roskilde : Risø National Laboratory, 1989. pp. 56-58.
- [58] **OTIS.** *OTIS GEN2 Switch. O elevador que se liga à corrente como um electrodoméstico*. Lisboa : OTIS, Elevadores Lda., 2016. Brochura Comercial.
- [59] **OMIE, Operador do Mercado Ibérico.** *Informe de precios 2018*. s.l. : OMIE, 2019.
- [60] **EDP Distribuição, S.A.** Simulador do Valor de Orçamento para Ligação à Rede de Baixa Tensão. [Online] [Citação: 18 de 02 de 2019.] <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/produtores/Documents/Simulador%20v2.3.xlsm>.
- [61] **Borges, A. R. J.** *O Túnel Aerodinâmico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Memória n.º 319*. Lisboa : LNEC, I.P., 1968.
- [62] **ENAIR.** Tools. Wind atlas. [Online] ENAIR, 05 de 2018. [Citação: 15 de 02 de 2019.] <https://www.enair.es/es/app/>.
- [63] **ENAIR.** Prices. [Online] 2018. [Citação: 15 de 02 de 2019.] <https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/prices>.
- [64] **Boermans, T., Engelund Thomsen, K., Hermelink, A., Rose, J., Schimschar, S., O. Aggerholm, S., Grözinger, J. e Offermann, M.** *Principles for nearly Zero-Energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements*. Ecofys Germany GmbH / Danish Building Research Institute. s.l. : Buildings Performance Institute Europe, 2011.

Anexo A · Projetos de Especialidade

A.1. Projeto de Arquitetura

ISABEL AIRES E JOSÉ CID
a r q u i t e c t o s

RAFAEL MONGE PALMA
Ciências ULisboa

PROJETO DE ARQUITETURA

Edifício ESNE

estudo prévio

outubro de 2017



RUA D

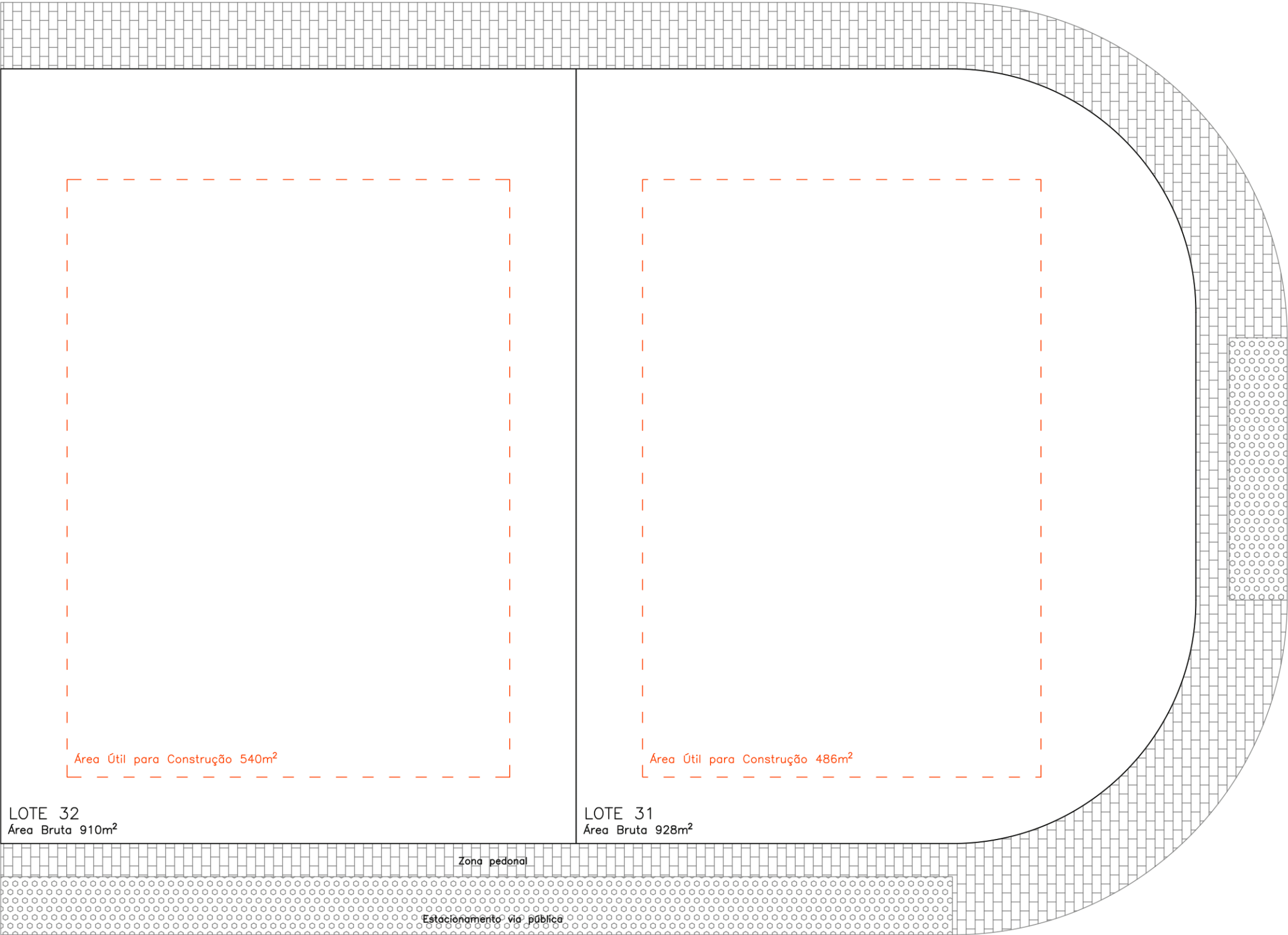
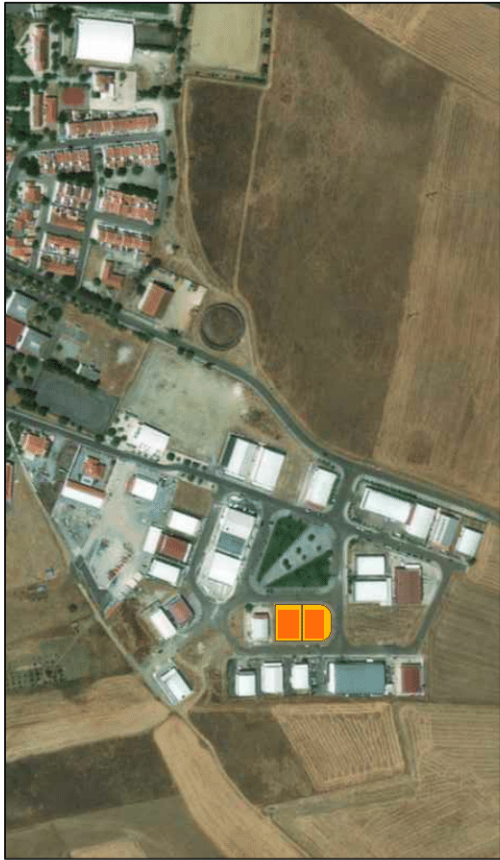



Imagem de Satélite (não está à escala)



 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio	
LOTES 31 E 32		DATA: outubro 2017	escala 1/200	folha 1 / 20

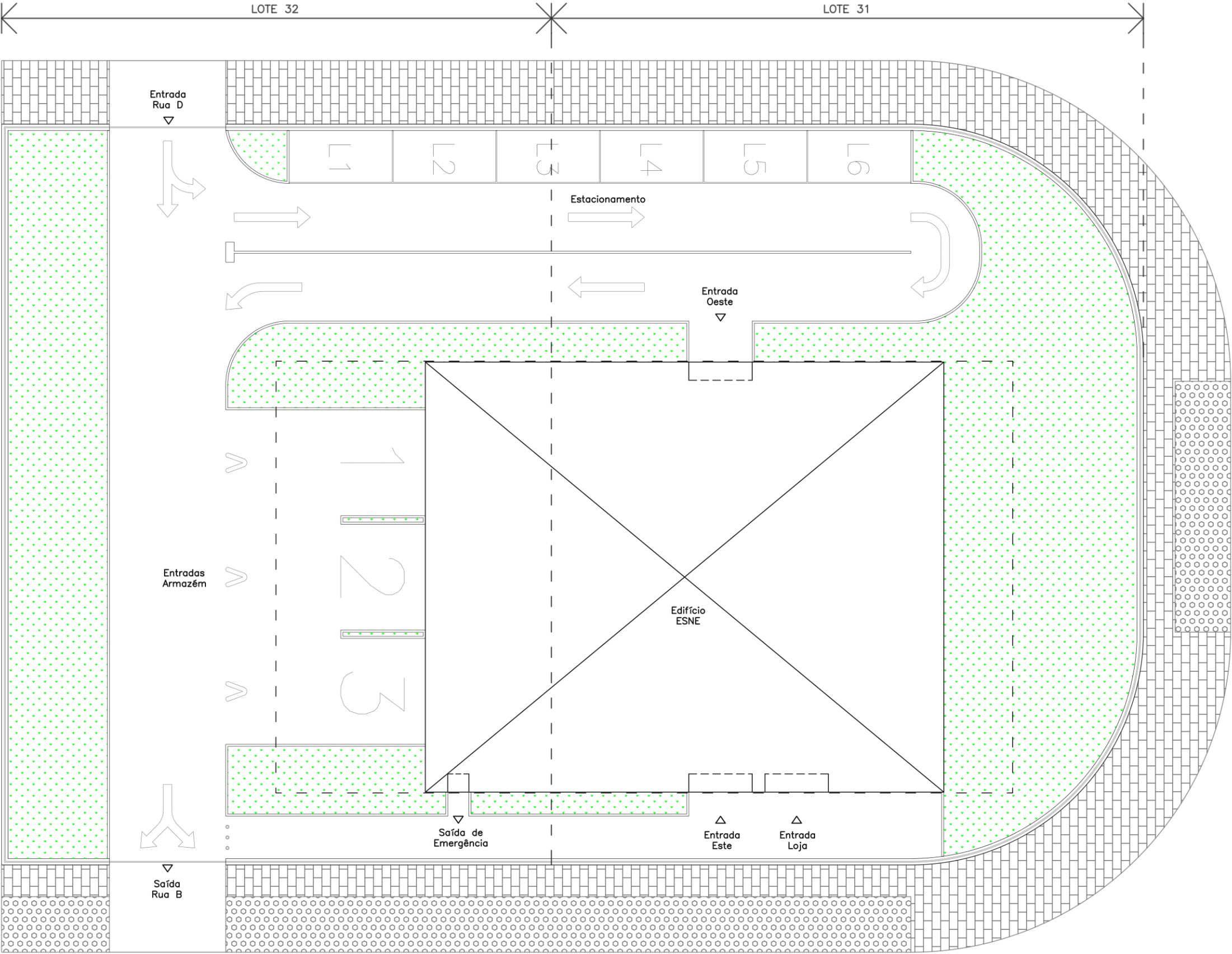



Imagem de Satélite (não está à escala)



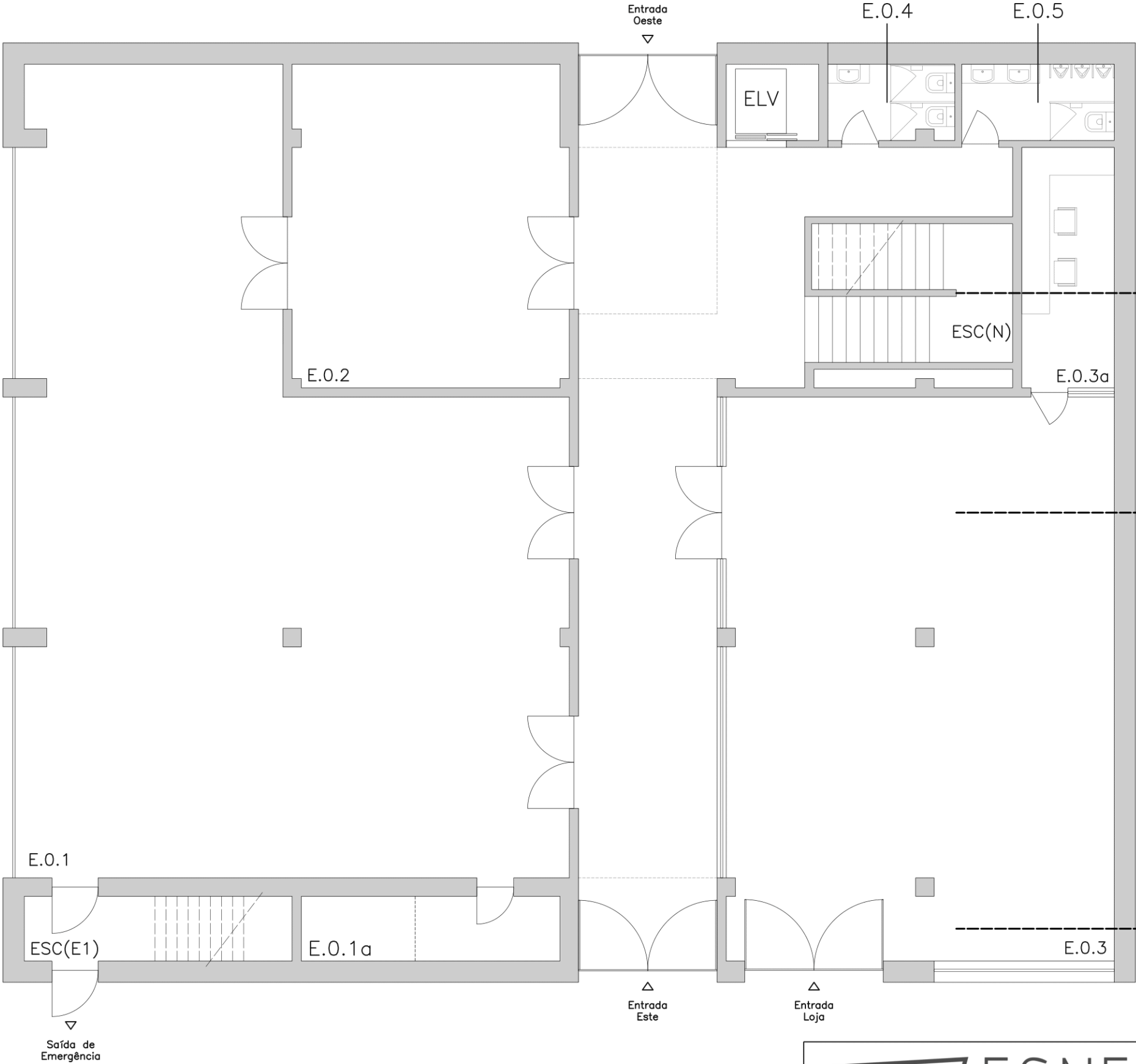
TABELA RESUMO	m²	%
Área Bruta dos Lotes	1838.0	100.0
Área de Edificado	498.2	27.1
Área de Pavimento Exterior	672.1	36.6
Área de Estacionamento	73.5	4.0
Área de Coberto Verde	545.4	29.7

 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
IMPLANTAÇÃO		DATA: outubro 2017	escala 1/200	folha 2 / 20


Grelhas de Sombreamento

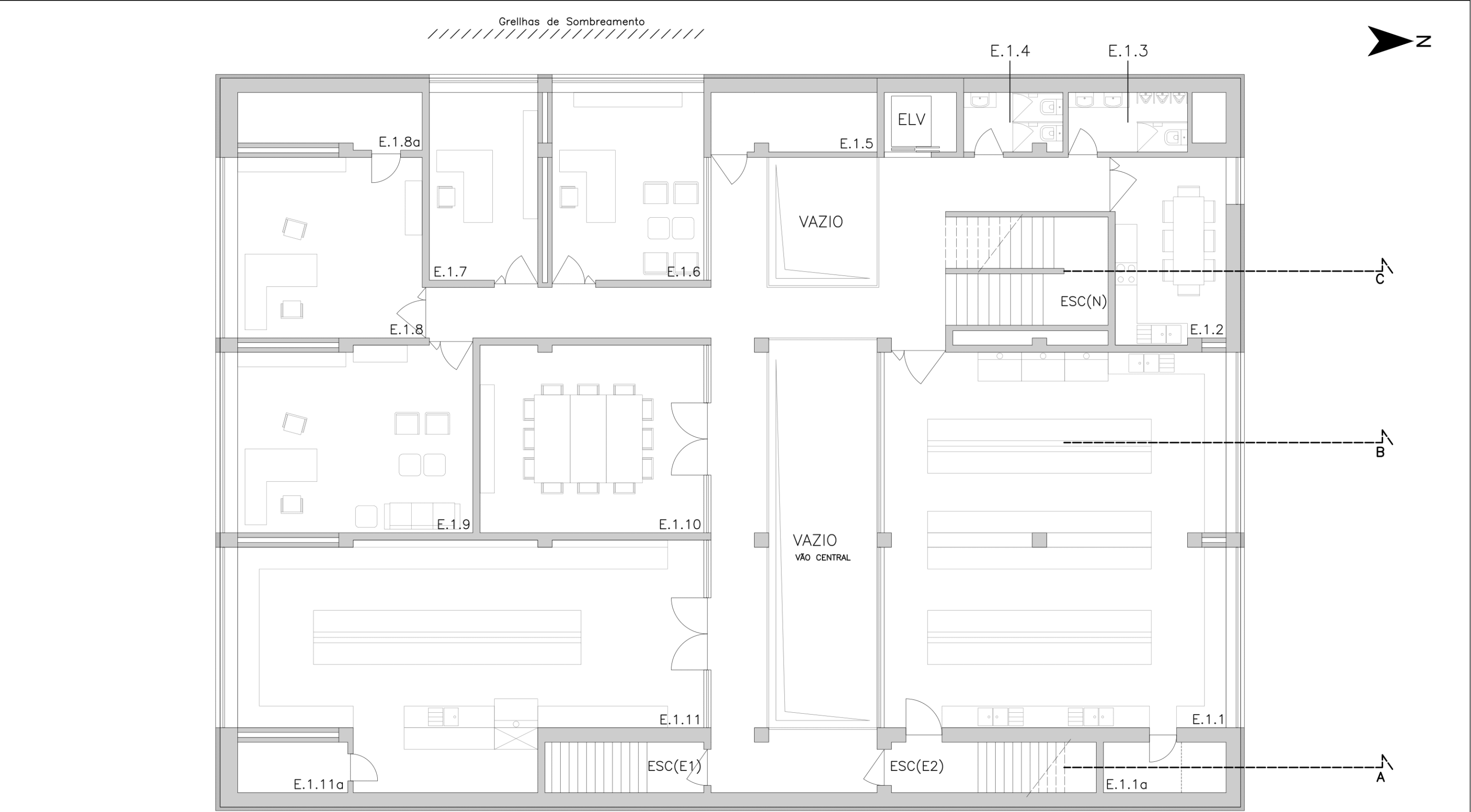


Entradas
Armazém




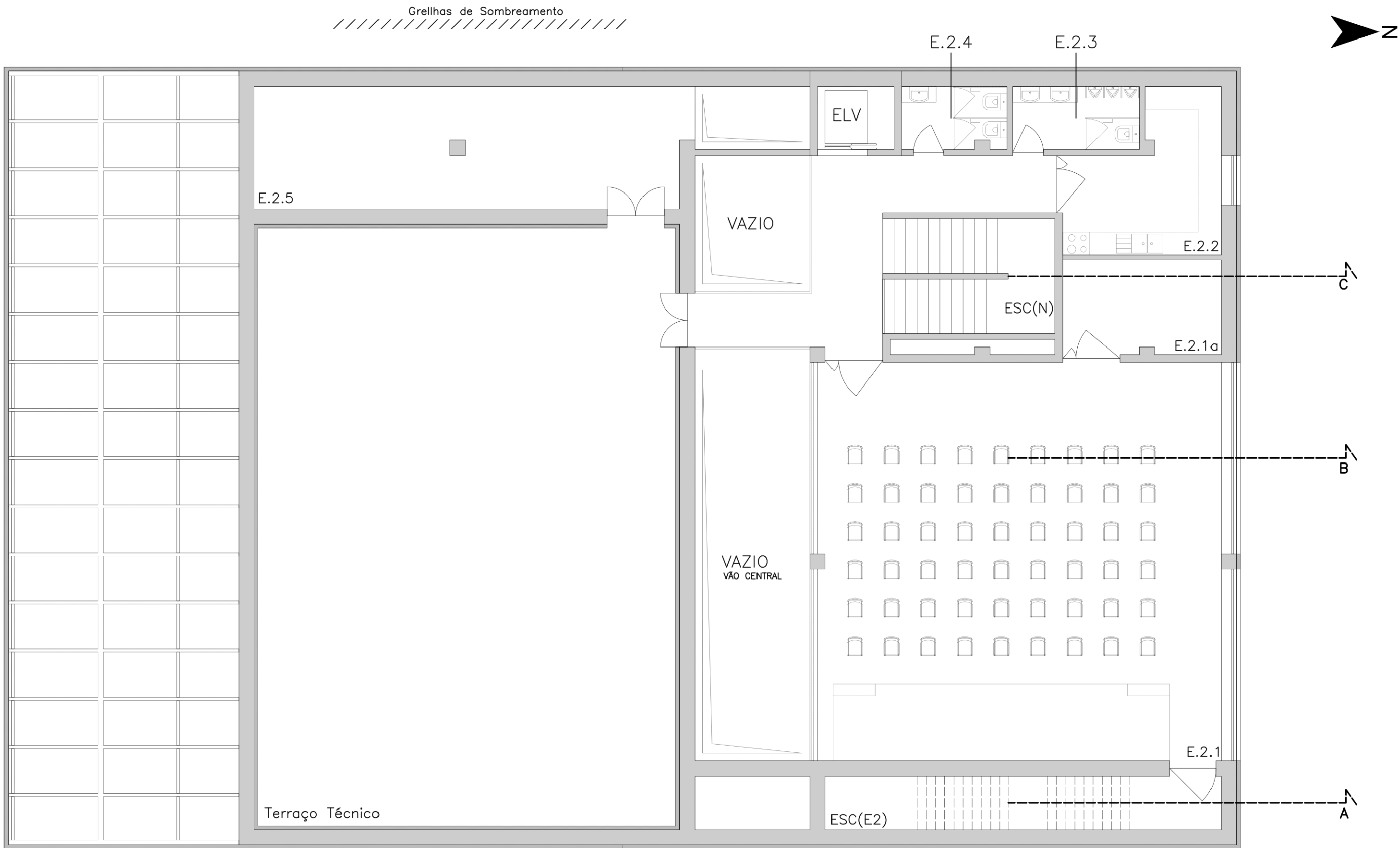
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.O.1	Armazém	165.2
E.O.1a	Arrumos Armazém	7.8
E.O.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5
E.O.3	Loja	102.0
E.O.3a	Escritório Loja	10.4
E.O.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.O.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
PLANTA PISO 0		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 3 / 20




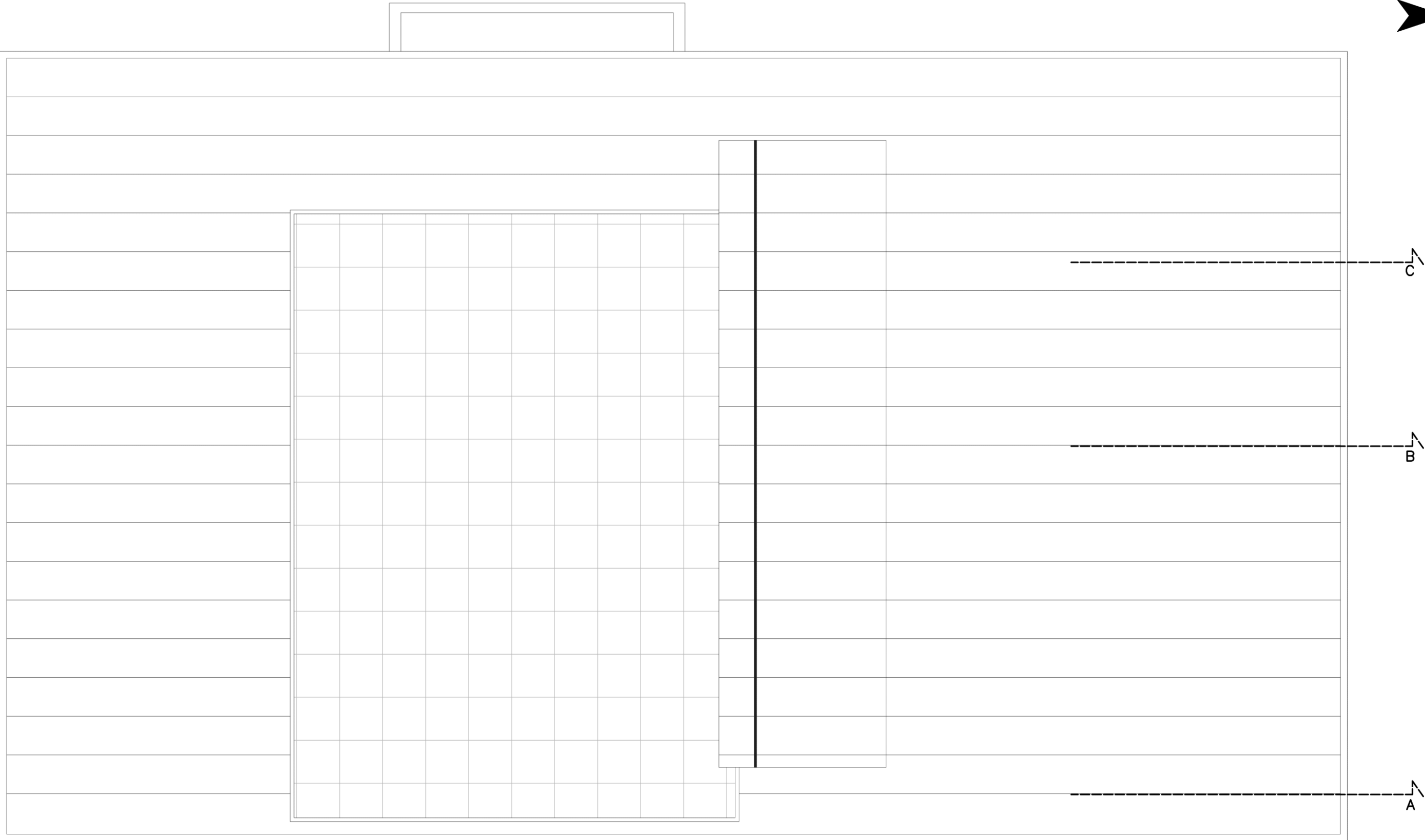
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	E.1.9	Gabinete 1	33.2
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	E.1.10	Sala de Reuniões	32.2
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	ELV	Elevador	
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	ESC(N)	Escadas Norte	
E.1.5	Zona Técnica	7.5	ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	
E.1.6	Gabinete 4	21.8	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	
E.1.7	Gabinete 3	15.6			
E.1.8	Gabinete 2	25.6			
E.1.8a	Arquivo	7.5			


 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
PLANTA PISO 1		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 4 / 20

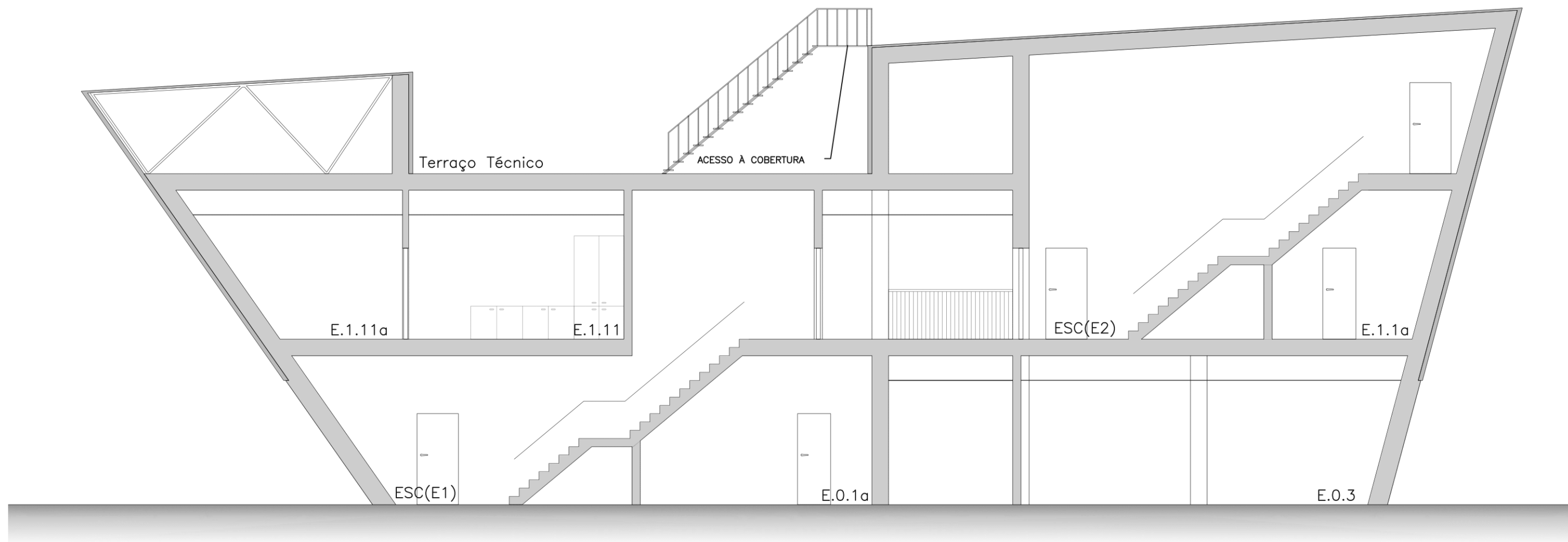


ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.2.1	Auditório	109.6
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.2
E.2.2	Copa	14.3
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.2.5	Zona Técnica	36.0
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	


 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
PLANTA PISO 2		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 5 / 20

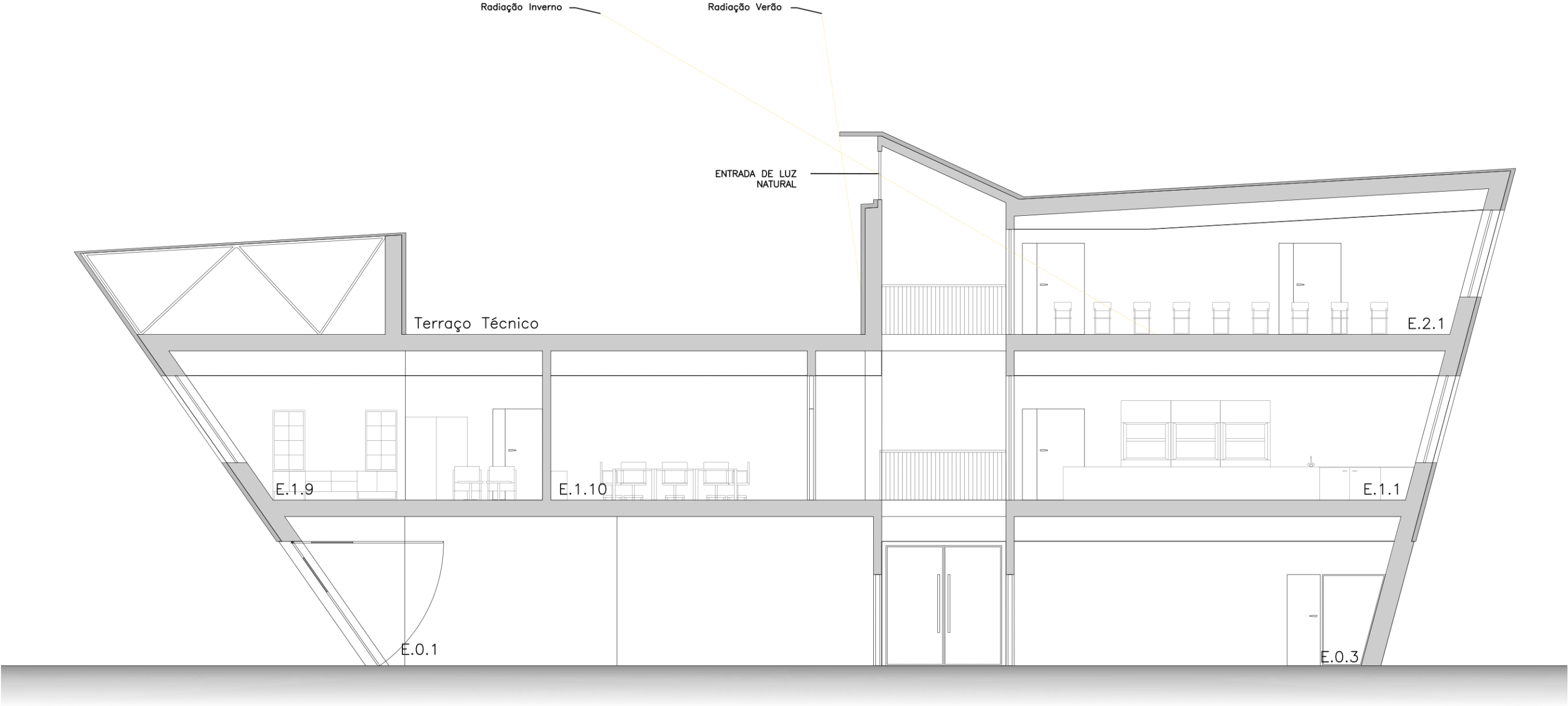


 <div>edifício de serviços com balanço nulo de energia</div>		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
COBERTURA		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 6 / 20




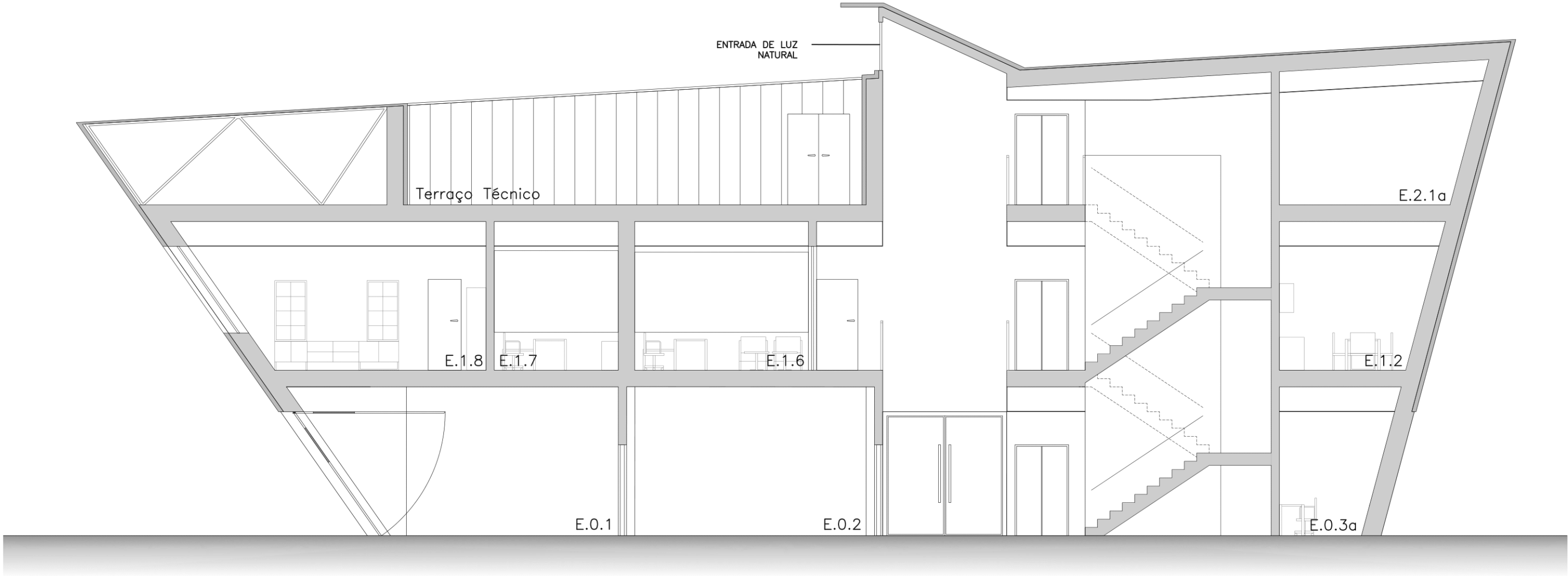
ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1a	Arrumos Armazém
E.0.3	Loja
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1

		edifício de serviços com balanço nulo de energia	AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
CORTE A			DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 7 / 20




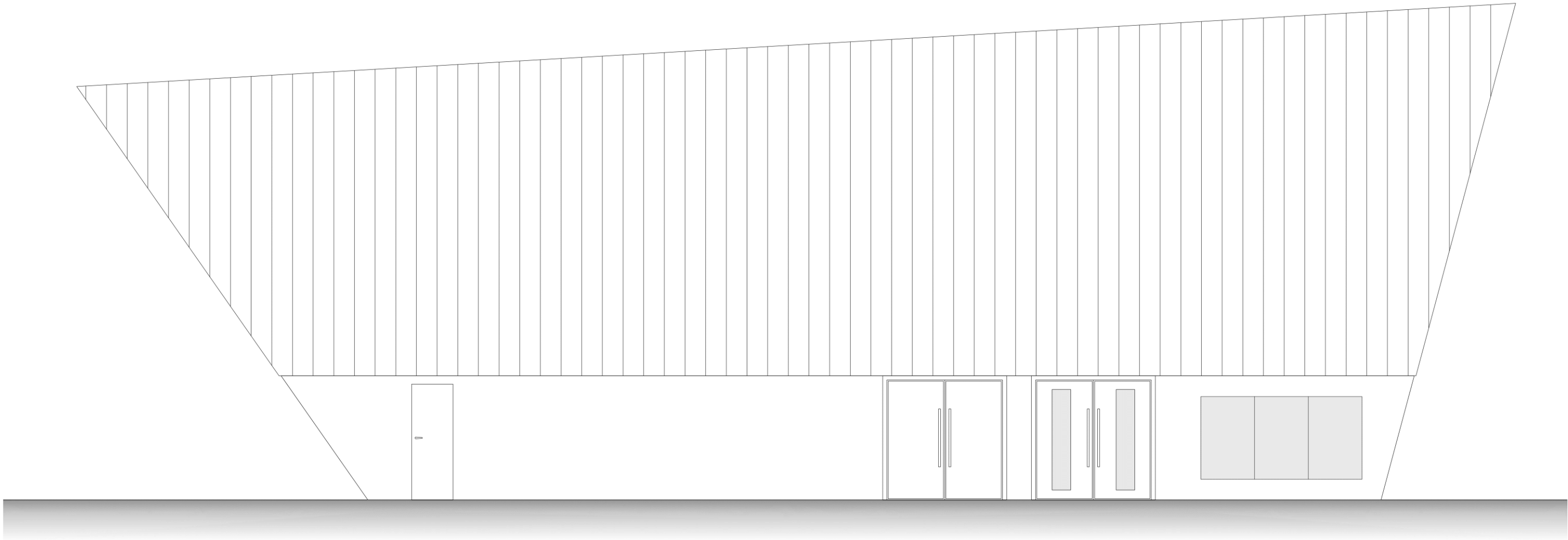
ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1	Armazém
E.0.3	Loja
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia
E.1.9	Gabinete 1
E.1.10	Sala de Reuniões
E.2.1	Auditório

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
CORTE B		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 8 / 20



ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1	Armazém
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores
E.0.3a	Escritório Loja
E.1.2	Sala de Refeições
E.1.6	Gabinete 4
E.1.7	Gabinete 3
E.1.8	Gabinete 2
E.2.1a	Arrumos Auditório

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
CORTE C		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 9 / 20




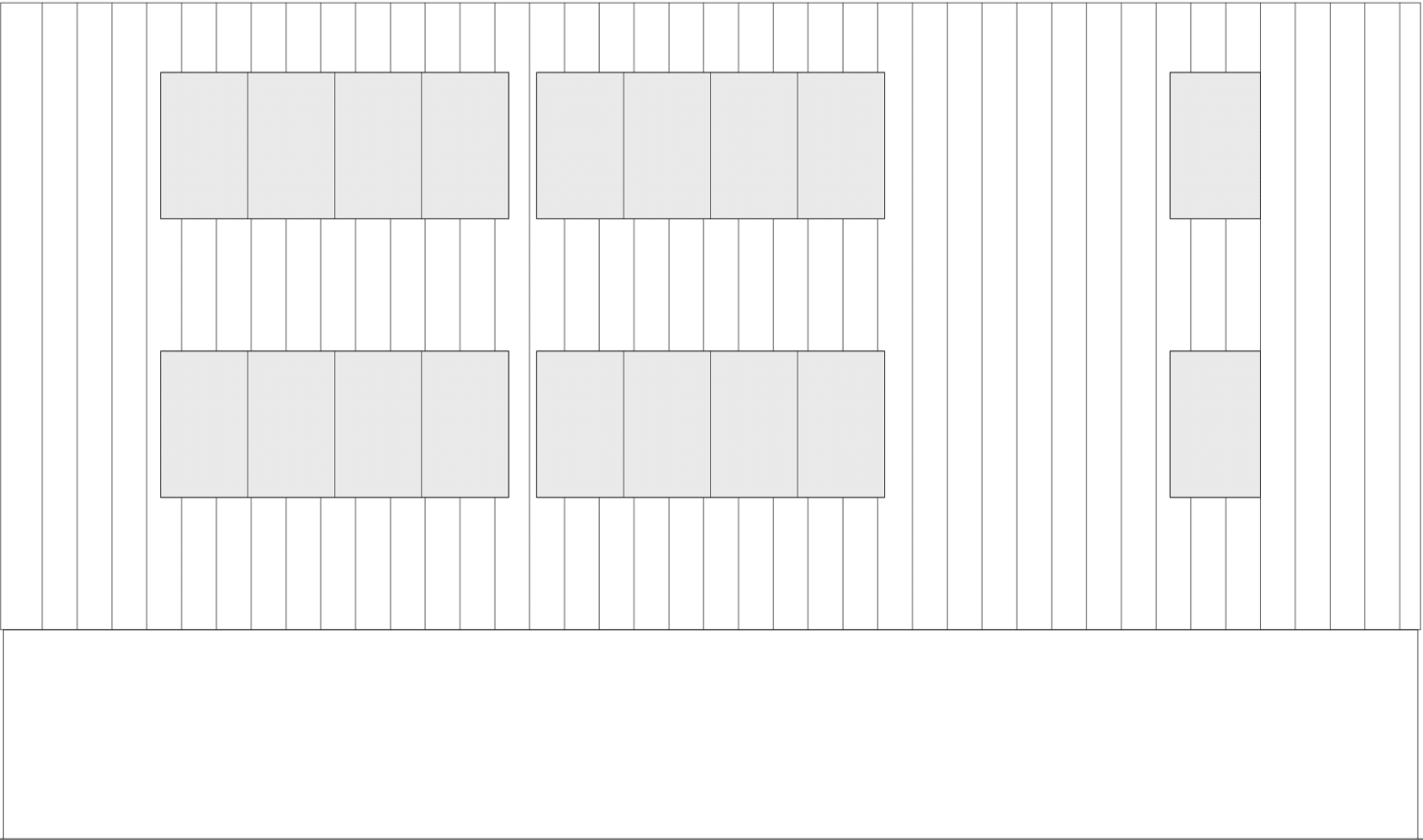
Saída de
Emergência


Entrada
Este

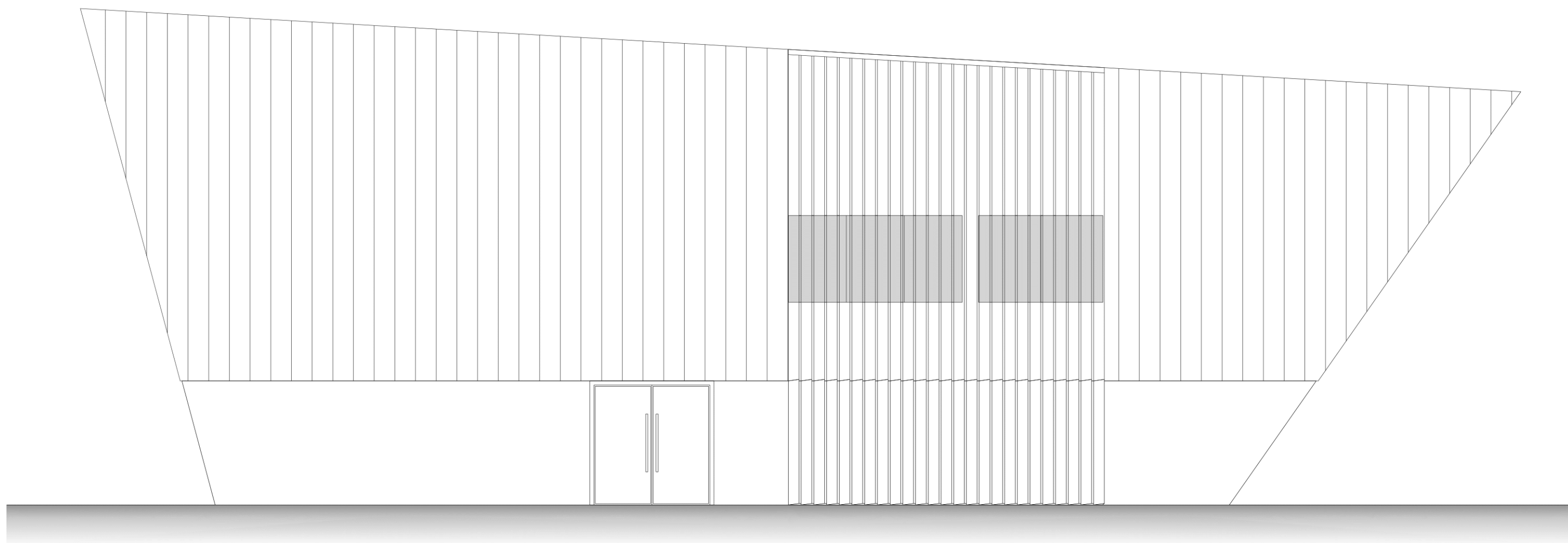
Entrada
Loja

Montra Loja

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio	
ALÇADO ESTE			DATA: outubro 2017	escala 1/100 folha 10 / 20




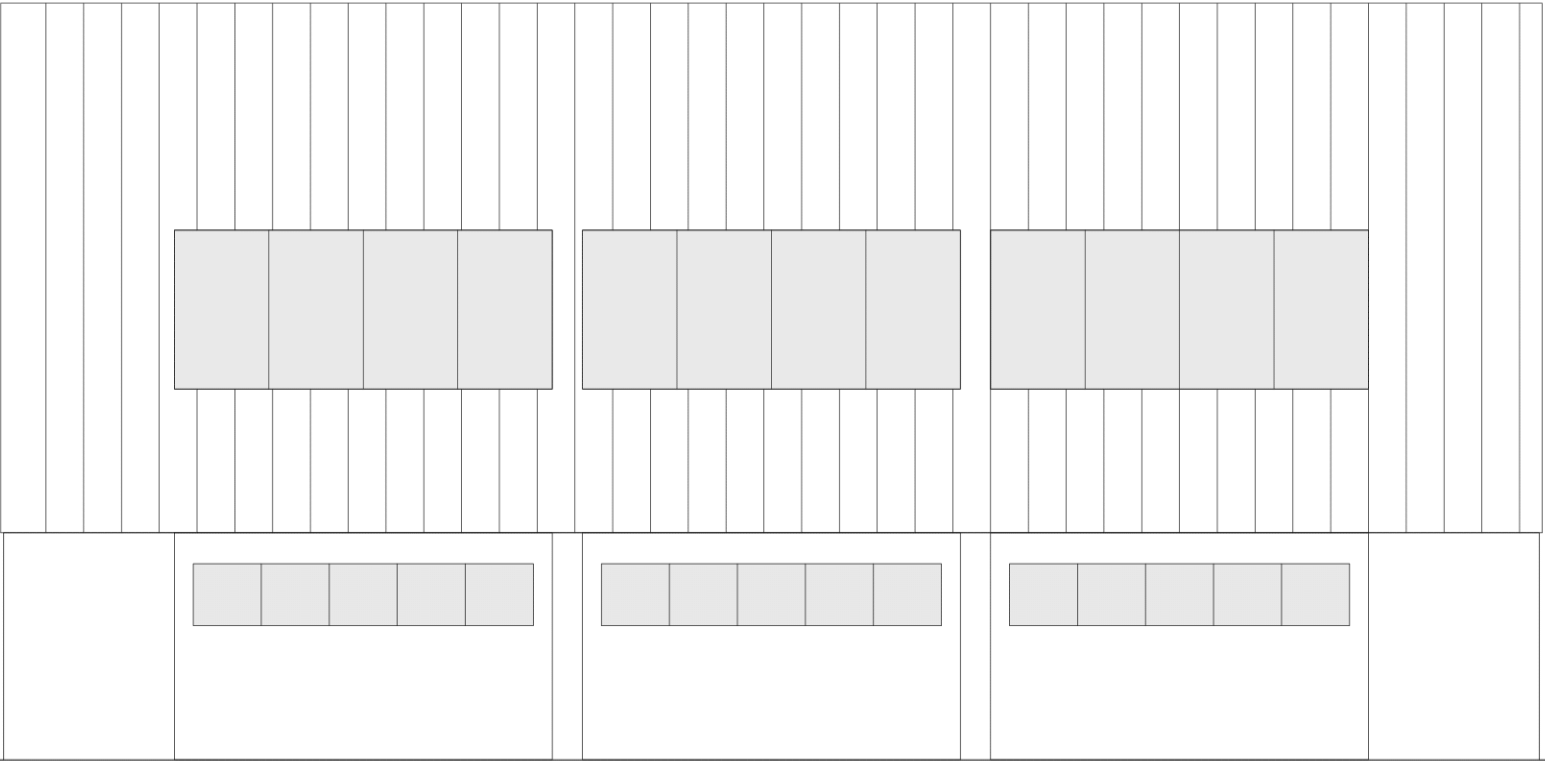
 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
ALÇADO NORTE		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 11 / 20




Entrada
Oeste

Sistema de Sombreamento
nos Gabinetes 3 e 4

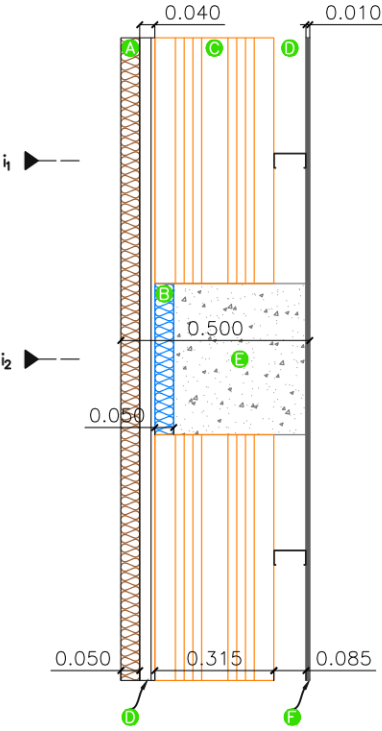
 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
ALÇADO OESTE		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 12 / 20



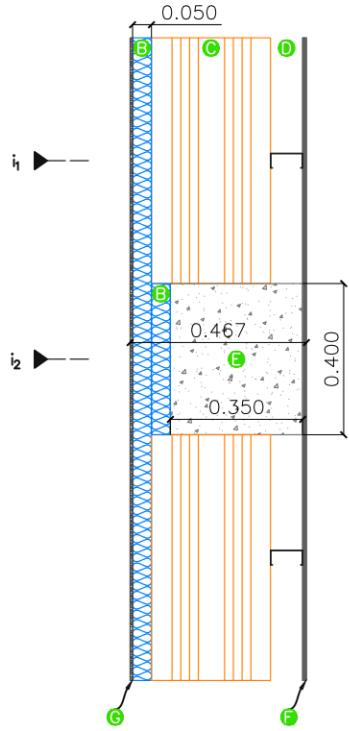
Entradas Armazém

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
ALÇADO SUL		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 13 / 20

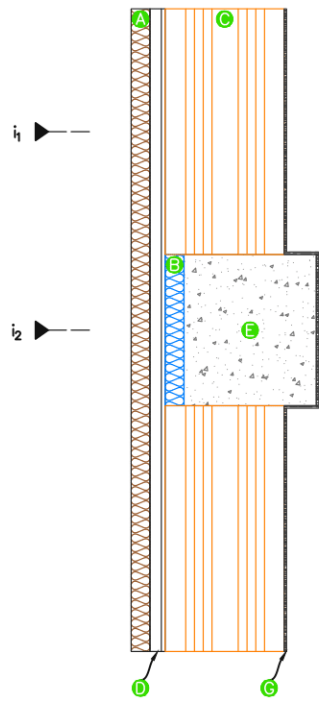
L50E
PAREDE EXTERIOR CINZA
(vista superior)



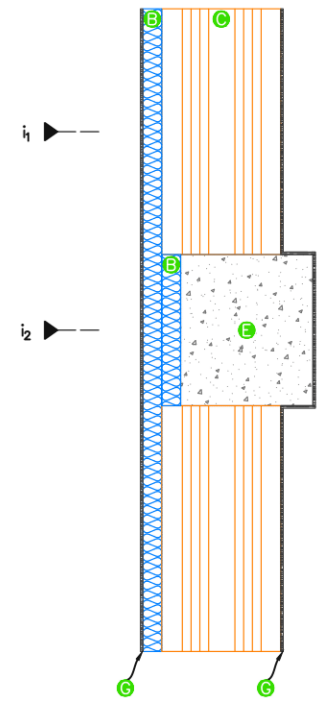
L46E
PAREDE EXTERIOR BRANCA
(vista superior)



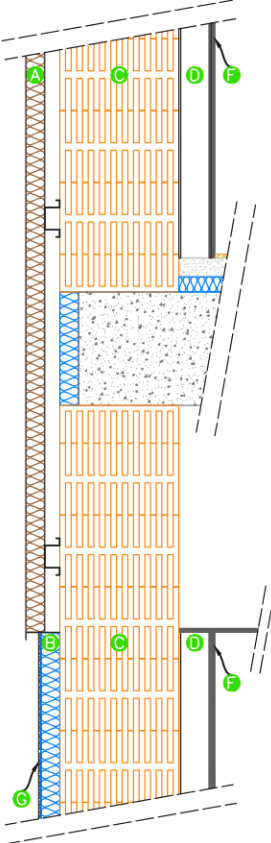
L50E-S
PAREDE EXTERIOR CINZA SIMPLES
(vista superior)



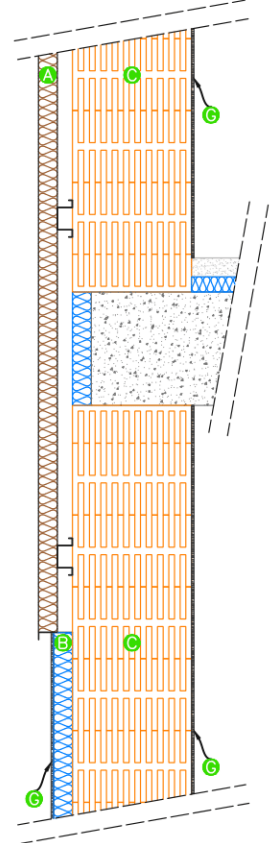
L46E-S
PAREDE EXTERIOR BRANCA SIMPLES
(vista superior)



PAREDE EXTERIOR BRANCA/CINZA
(vista em corte)



PAREDE EXTERIOR BRANCA/CINZA SIMPLES
(vista em corte)




COEFICIENTE DE
TRANSFERÊNCIA
DE CALOR

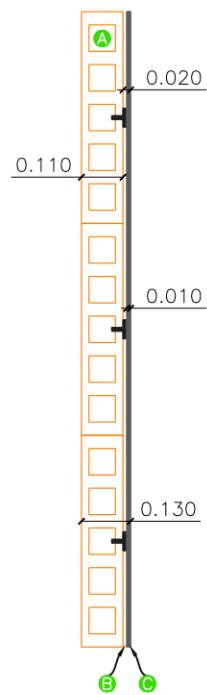
Parede	U _{global} [W/m ² ·K]	
	i1	i2
L50E	0.26	0.31
L46E	0.27	0.33
L50E-S	0.27	0.31
L46E-S	0.29	0.33

LEGENDA

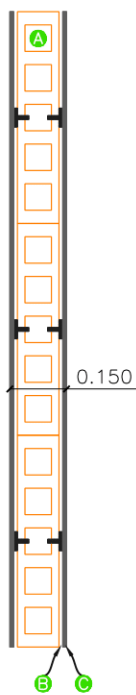
- A Chapa Sanduíche Perfilada c/ Lã de Rocha 50mm MUNDIPERFIL
- B Isolamento exterior XPS WALLMATE 50mm
- C Bloco de Betão Leve de Agregados de Argila Expandida TERMOACÚSTICO ARTEBEL
- D Caixa de Ar para perfis de fixação Omega e U
- E Pilar ou Laje de Betão Armado
- F Gesso Cartonado 10mm
- G Reboco Liso com acabamento acrílico branco 6.5mm

 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
DETALHE DE CONSTRUÇÃO: PAREDE EXTERIOR		DATA: outubro 2017	escala 1/20	folha 14 / 20

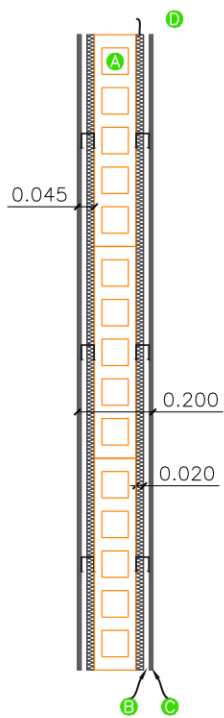
PAREDE INTERIOR L13
(vista superior)



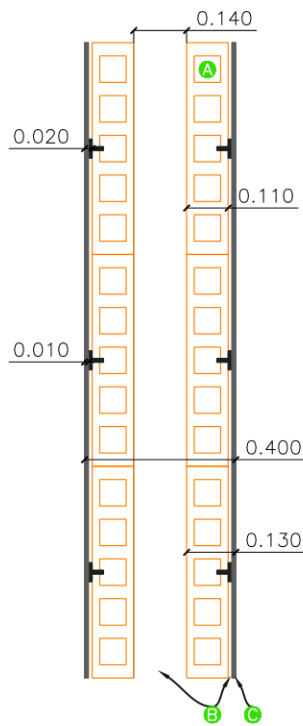
PAREDE INTERIOR L15
(vista superior)



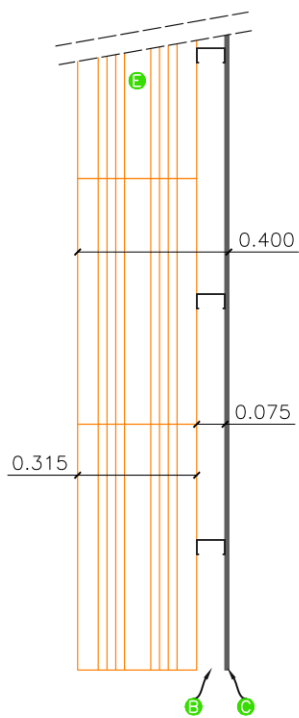
PAREDE INTERIOR L20
(vista superior)



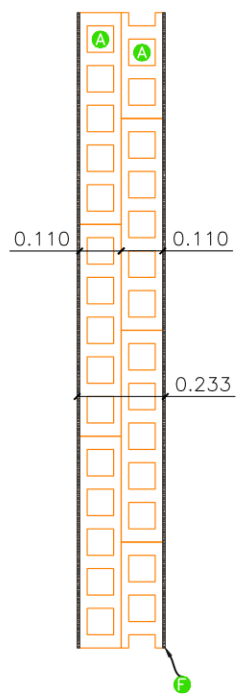
PAREDE INTERIOR 2L13+14
(vista superior)



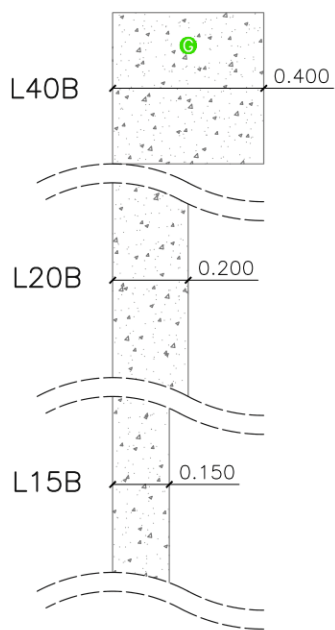
PAREDE INTERIOR L40
(vista superior)



PAREDE INTERIOR SBI
(vista superior)



PAREDE INTERIOR ESTRUTURAL
(vista superior)




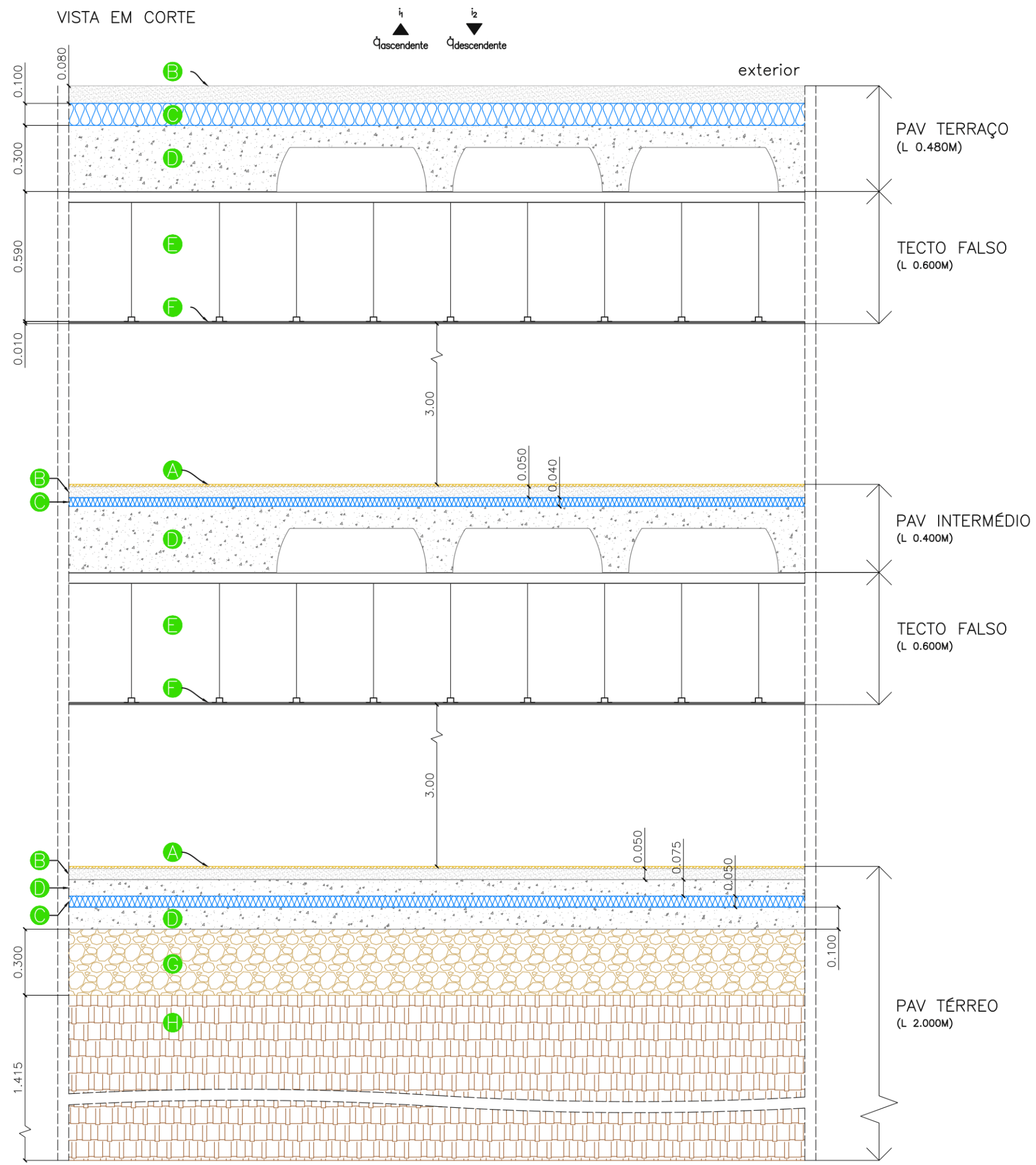
COEFICIENTE DE
TRANSFERÊNCIA DE
CALOR

Parede	U_{global} [W/m ² ·K]
L13	0.96
L15	0.81
L20	0.52
2L13+14	0.50
L40	0.41
LSBI	0.63
L15B	3.13
L20B	2.94
L40B	2.38

LEGENDA


- A Bloco de Betão Leve de Agregados de Argila Expandida FREEBLOCO ARTEBEL
- B Caixa de Ar para perfis de fixação Omega e U ou para passagem técnica
- C Gesso Cartonado 10mm
- D Isolamento IsoAcústico Textil de 20mm
- E Bloco de Betão Leve de Agregados de Argila Expandida TERMOACÚSTICO ARTEBEL
- F Reboco liso com acabamento acrílico branco 6.5mm
- G Betão Estrutural

 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
DETALHE DE CONSTRUÇÃO: PAREDE INTERIOR		DATA: outubro 2017	escala 1/20	folha 15 / 20



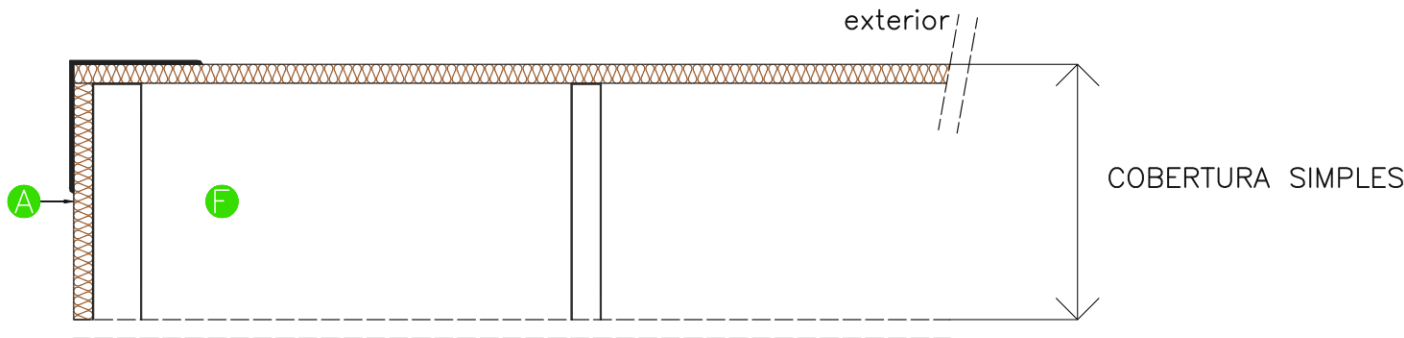
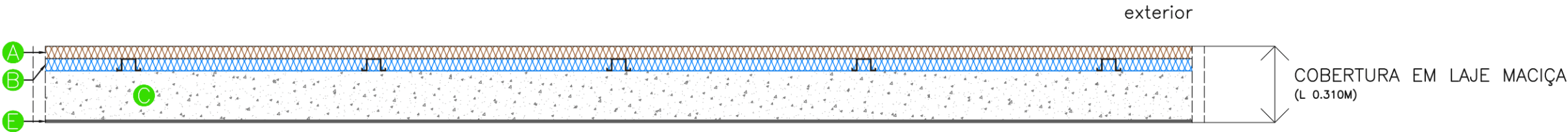
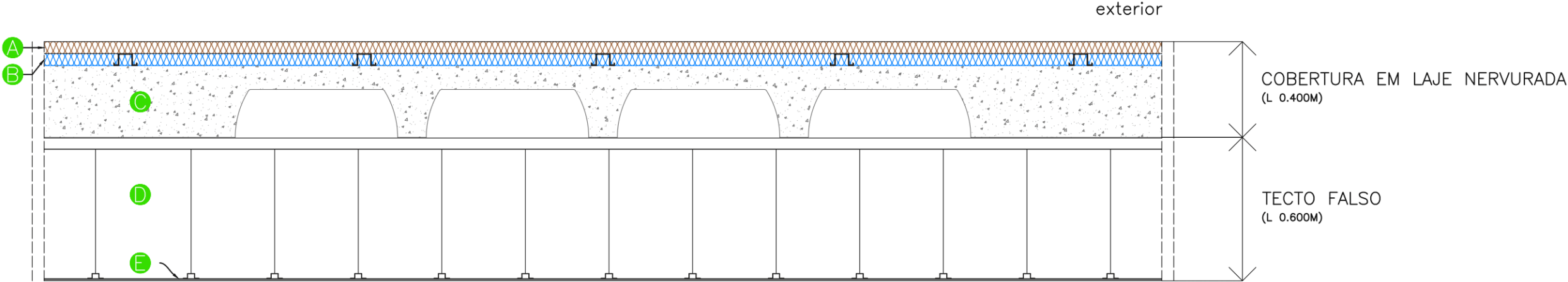
COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR		
Elemento	U _{global} [W/m²·K]	
	i1	i2
PAV. TERRAÇO	0.32	0.31
PAV. INTERMÉDIO	0.66	0.61
PAV. TÉRREO	0.40	0.38
TECTO FALSO	4.17	2.63

- LEGENDA
- A Pavimento de Grés Cerâmico c/ acabamento em Lioz 10mm
 - B Betonilha Leve de Agregados de Argila Expandida LECA
 - C XPS FLOORMATE 100mm (PAV. TERRAÇO), 50mm (PAV. TÉRREO) e 40mm (PAV. INTERMÉDIO)
 - D Laje Nervurada em Betão / Betão Armado de Estabilização
 - E Caixa de Ar do Tecto Falso para passagem de conductas
 - F Gesso Cartonado 10mm
 - G Brita de Pedreira 20/30mm
 - H Solo Compactado e estabilizado

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
DETALHE DE CONSTRUÇÃO: PAVIMENTOS E TECTOS		DATA: outubro 2017	escala 1/20	folha 16 / 20

VISTA EM CORTE

i_1
 $\dot{Q}_{\text{ascendente}}$ i_2
 $\dot{Q}_{\text{descendente}}$




COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Elemento	$U_{\text{global}} \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	
	i_1	i_2
COBERTURA EM LAJE NERVURADA	0.34	0.34
COBERTURA EM LAJE MACIÇA	0.34	0.33
COBERTURA SIMPLES	0.68	0.65
TECTO FALSO	4.17	2.63

LEGENDA

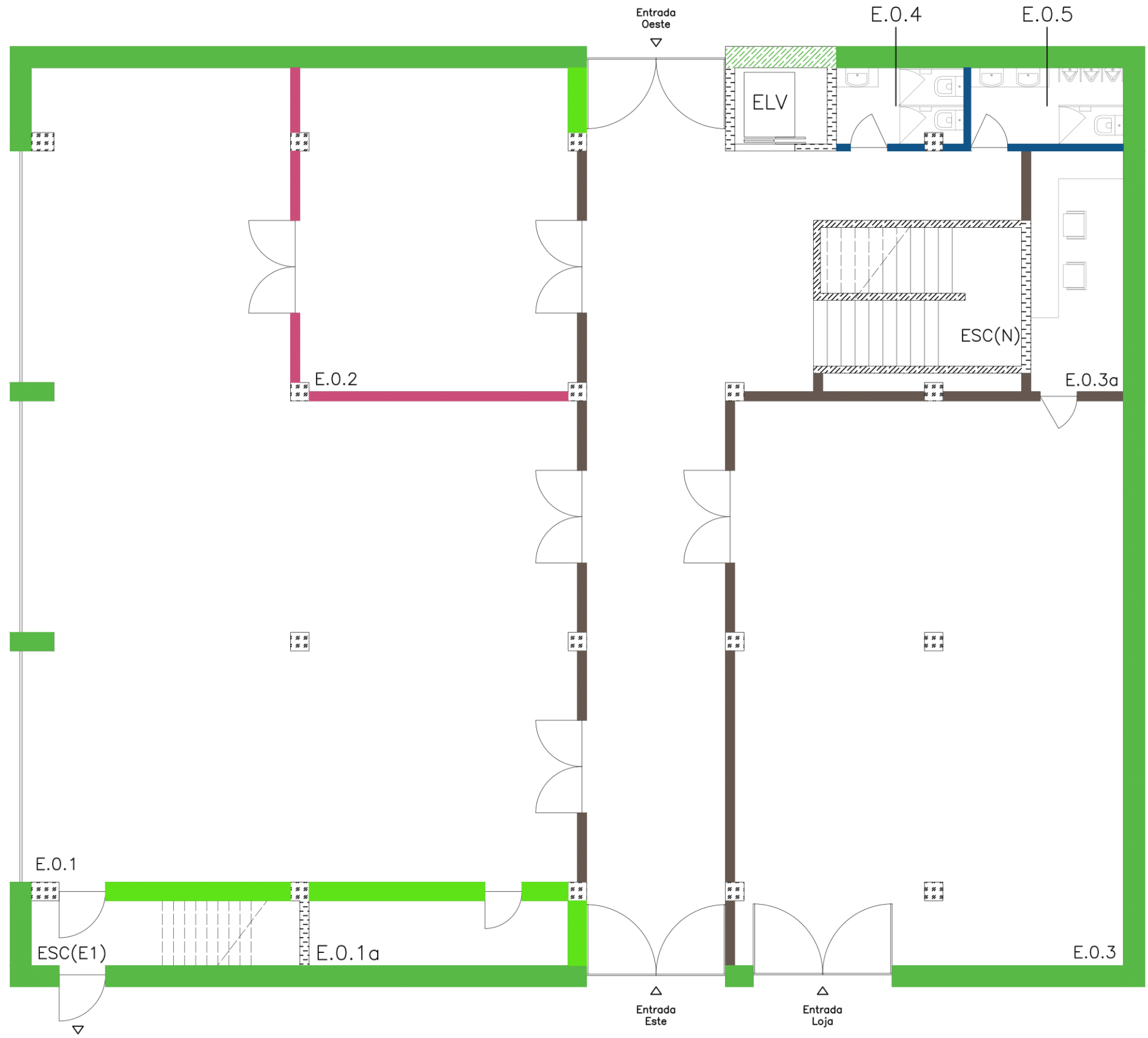
- A Chapa Sanduíche Perfilada c/ Lã de Rocha 50mm MUNDIPERFIL
- B XPS ROOFMATE 50mm (perfis omega embuídos no isolante)
- C Esteira de Betão em Laje Nervurada ou em Laje Maciça
- D Caixa de Ar do Tecto Falso para passagem de conductas
- E Gesso Cartonado 10mm
- F Estrutura Metálica de suporte p/ cobertura simples (piso 2 extremo sul)

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
DETALHE DE CONSTRUÇÃO: COBERTURA		DATA: outubro 2017	escala 1/20	folha 17 / 20


Grelhas de Sombreamento

Entradas Armazém

PAREDE	COR
L50E	
L46E	
L50E-S	
L46E-S	
L13	
L15	
L20	
2L13+14	
L40	
LSBI	
L15B	
L20B	
L40B	




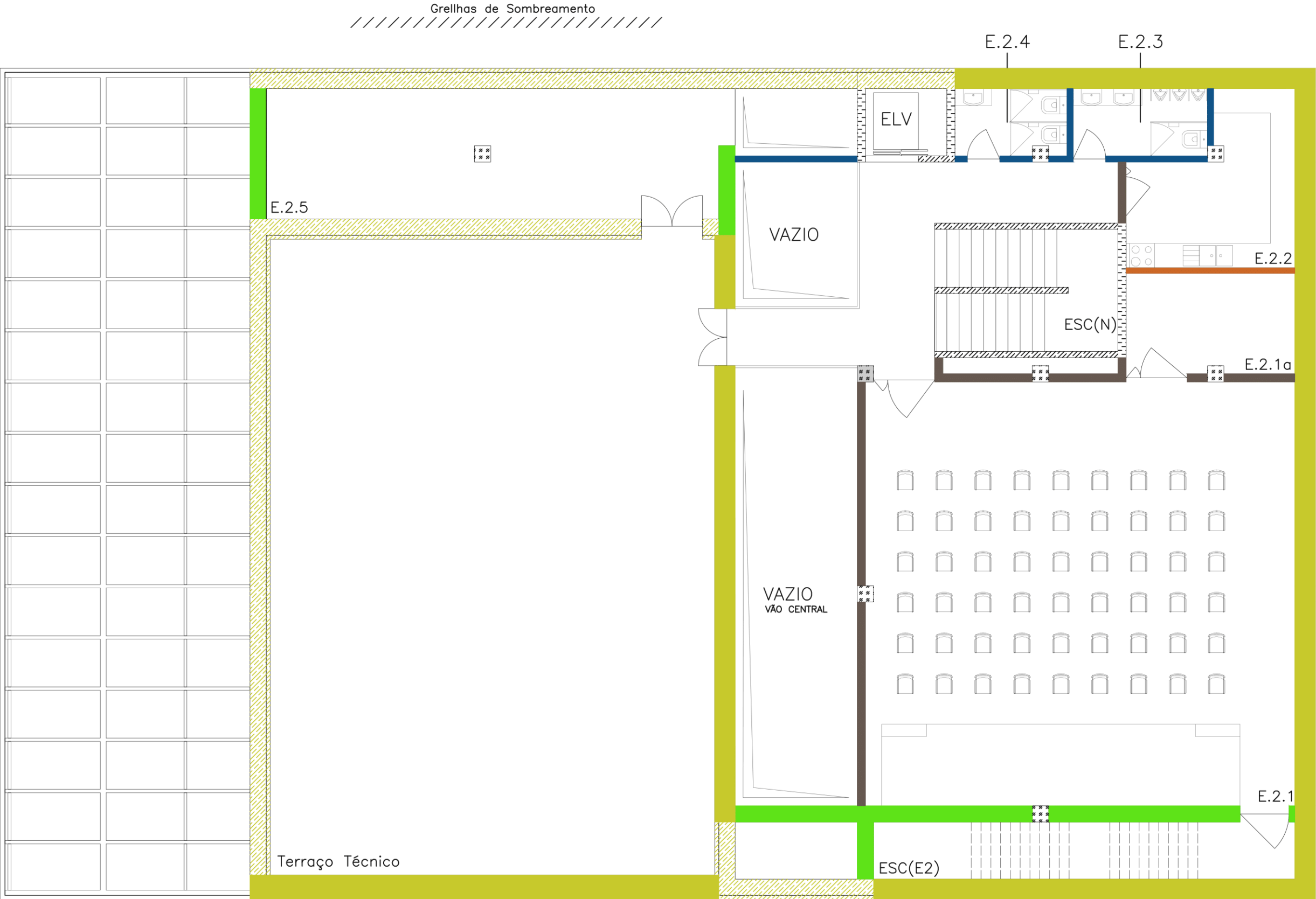
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.0.1	Armazém	165.2
E.0.1a	Arrumos Armazém	7.8
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5
E.0.3	Loja	102.0
E.0.3a	Escritório Loja	10.4
E.0.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.0.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
TIPOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES PLANTA PISO 0		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 18 / 20




ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]			
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	E.1.9	Gabinete 1	33.2
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	E.1.10	Sala de Reuniões	32.2
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	ELV	Elevador	
E.1.5	Zona Técnica	7.5	ESC(N)	Escadas Norte	
E.1.6	Gabinete 4	21.8	ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	
E.1.7	Gabinete 3	15.6	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	
E.1.8	Gabinete 2	25.6			
E.1.8a	Arquivo	7.5			

 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
TIPOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES PLANTA PISO 1		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 19 / 20



ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.2.1	Auditório	109.6
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.2
E.2.2	Copa	14.3
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.2.5	Zona Técnica	36.0
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	

PAREDE	COR		
L50E		L20	
L46E		2L13+14	
L50E-S		L40	
L46E-S		LSBI	
L13		L15B	
L15		L20B	

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Isabel Aires e José Cid Arquitectos Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Estudo Prévio		
TIPOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES PLANTA PISO 2		DATA: outubro 2017	escala 1/100	folha 20 / 20

A.2. Propriedades Termofísicas e Óticas dos Materiais de Construção

Tabela A.1 – Propriedades termofísicas dos materiais, sistemas construtivos e elementos da construção do edifício ESNE, adaptado de [46], [47], [48], [49], [50], [51] e [52].

Elemento	Material	<i>L</i> Espessura [m]	<i>α_s</i> Absortividade Solar	<i>λ</i> Condutividade [W/m·K]	<i>ρ</i> Massa Volúmica [kg/m³]	<i>c_s</i> Calor Específico [J/kg·K]	<i>R</i> Resistência Térmica [m²·K/W]	<i>U_{global}</i> Coeficiente de Transferência de Calor [W/m²·K]
PAREDES								
Parede Exterior Branca (z<3m)	Reboco 0,65cm	0,0130	0,26	1,800	2 000	1 100	0,007	0,27
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Bloco TERMOACÚSTICO Artebel	0,3150	0,63	0,161	835	840	1,961	
	Caixa de Ar 8,50cm	0,0850	-	-	-	-	0,180	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Exterior Branca (Pilar) (z<3m)	Reboco 0,65cm	0,0065	0,26	1,800	2 000	1 100	0,004	0,33
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Betão 35cm	0,3500	0,60	2,500	2 450	1 060	0,140	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Exterior Branca Simples (Pilar) (z<3m)	Recobo 0,65cm	0,0065	0,26	1,800	2 000	1 100	0,004	0,33
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Betão 35cm	0,3500	0,60	2,500	2 450	1 060	0,140	
Parede Exterior Cinza (z≥3m)	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,26
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333	
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	
	Caixa Ar 4cm	0,0400	-	-	-	-	0,180	
	Bloco TERMOACÚSTICO Artebel	0,3150	0,63	0,161	835	840	1,961	
	Caixa de Ar 8,50cm	0,0850	-	-	-	-	0,180	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Exterior Cinza (Pilar) (z≥3m)	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,31
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333	
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	
	Caixa Ar 4cm	0,0888	-	-	-	-	0,180	
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Betão 35cm	0,3500	0,60	2,500	2 450	1 060	0,140	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Exterior Cinza Simples (z≥3m)	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,27
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333	
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	
	Caixa de Ar 4cm	0,0400	-	-	-	-	0,180	
	Bloco TERMOACÚSTICO Artebel	0,3150	0,63	0,161	835	840	1,961	
	Reboco 0,65cm	0,0065	0,60	1,800	2 000	1 100	0,004	
Parede Exterior Cinza Simples (Pilar) (z≥3m)	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,31
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333	
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	
	Caixa Ar 4cm	0,0888	-	-	-	-	0,180	
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Betão 35cm	0,3500	0,60	2,500	2 450	1 060	0,140	
	Reboco 0,65cm	0,0065	0,60	1,800	2 000	1 100	0,004	

Elemento	Material	L Espessura [m]	α_s Absortividade Solar	λ Condutividade [W/m·K]	ρ Massa Volúmica [kg/m³]	c_s Calor Específico [J/kg·K]	R Resistência Térmica [m²·K/W]	U_{global} Coeficiente de Transferência de Calor [W/m²·K]
Parede Interior L13	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	0,96
	Caixa de Ar 1cm	0,0100	-	-	-	-	0,150	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
Parede Interior L15	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	0,81
	Caixa de Ar 1cm	0,0100	-	-	-	-	0,150	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	Caixa de Ar 1cm	0,0100	-	-	-	-	0,150	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Interior L20	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	0,52
	Caixa de Ar 1,5cm	0,0150	-	-	-	-	0,170	
	Textil IsoAcústico 2cm	0,0200	0,70	0,060	80	1 300	0,333	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	Textil IsoAcústico 2cm	0,0200	0,70	0,060	80	1 300	0,333	
	Caixa de Ar 1,5cm	0,0150	-	-	-	-	0,170	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Interior 2L13+14	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	0,50
	Caixa de Ar 1cm	0,0100	-	-	-	-	0,150	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	Caixa de Ar 14cm	0,1400	-	-	-	-	0,180	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	Caixa de Ar 1cm	0,0100	-	-	-	-	0,150	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Interior L40	Bloco Betão Leve	0,3150	0,60	0,161	835	840	1,961	0,41
	Caixa Ar 7,50cm	0,0750	-	-	-	-	0,180	
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	
Parede Interior SBI	Reboco 0,65cm	0,0065	0,26	1,800	2 000	1 100	0,004	0,69
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	FREEBLOCO Artebel	0,1100	0,63	0,186	641	840	0,592	
	Reboco 0,65cm	0,0065	0,26	1,800	2 000	1 100	0,004	
Paredes Interiores L15B	Betão 15cm	0,1500	0,26	2,500	2 450	1 060	0,060	3,13
Paredes Interiores L20B	Betão 20cm	0,2000	0,26	2,500	2 450	1 060	0,080	2,94
Parede Interior L40B	Betão 40cm	0,4000	0,26	2,500	2 450	1 060	0,160	2,38

PAVIMENTOS E TETOS

								fluxo asc.	fluxo desc.
Pavimento Térreo	Revestimento Cerâmico	0,0100	0,45	1,620	2 400	900	0,006	0,40	0,38
	Betonilha 5cm	0,0500	0,60	0,360	1 000	1 000	0,139		
	Betão 7,5cm	0,0750	0,60	2,500	2 450	1 060	0,030		
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351		
	Betão 10cm	0,1000	0,60	2,500	2 450	1 060	0,040		
	Brita	0,3000	0,65	1,568	1 800	1 045	0,191		
	Solo	1,4150	0,70	2,100	1 800	2 085	0,674		

Elemento	Material	L Espessura [m]	α_s Absortividade Solar	λ Condutividade [W/m·K]	ρ Massa Volúmica [kg/m³]	c_s Calor Específico [J/kg·K]	R Resistência Térmica [m²·K/W]	U_{global} Coeficiente de Transferência de Calor [W/m²·K]	
Pavimento Intermédio	Revestimento Cerâmico	0,0100	0,45	1,620	2 400	900	0,006	0,66	0,61
	Betonilha 5cm	0,0500	0,60	0,360	1 000	1 000	0,139		
	XPS 4cm	0,0400	0,55	0,037	34	1 210	1,081		
	Betão Laje	0,2110	0,60	2,500	2 450	1 060	0,084		
Pavimento Terraço	Betonilha 8cm	0,0800	0,60	0,360	1 000	1 000	0,222	0,32	0,31
	XPS 10cm	0,1000	0,55	0,037	34	1 210	2,703		
	Betão Laje	0,2110	0,60	2,500	2 450	1 060	0,084		
Teto Falso	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040	4,17	2,63

COBERTURA

								fluxo asc.	fluxo desc.
Cobertura Simples	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,68	0,65
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333		
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000		
Cobertura em Laje Maciça	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,34	0,33
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333		
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000		
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351		
	Betão 20cm	0,2000	0,60	2,500	2 450	1 060	0,080		
	Gesso Cartonado	0,0100	0,26	0,250	800	1 215	0,040		
Cobertura em Laje Nervurada	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,34	0,34
	Lã de Rocha MUNDIPERFIL	0,0500	0,65	0,0375	150	1 030	1,333		
	Chapa Metálica	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000		
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351		
	Betão Laje	0,2110	0,60	2,500	2 450	1 060	0,084		

PORTAS

Porta Exterior Madeira	Madeira de Carvalho	0,0150	0,70	0,160	720	1 255	0,094	1,10
	Lã de Rocha Compacta	0,0200	0,65	0,036	175	1 030	0,556	
	Madeira de Carvalho	0,0150	0,70	0,160	720	1 255	0,094	
Porta Exterior Metálica	Chapa Metálica	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	0,59
	Lã de Rocha Compacta	0,0550	0,65	0,036	175	1 030	1,528	
	Chapa Metálico	0,0015	0,65	72,000	7 870	447	0,000	
Portão Armazém	Painel Metálico	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	0,66
	XPS 5cm	0,0500	0,55	0,037	34	1 210	1,351	
	Painel Metálico	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	
Porta Interior	Madeira de Carvalho	0,0250	0,70	0,160	720	1 255	0,156	2,40
Porta Interior Metálica	Painel Metálico	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	0,56
	Lã de Rocha Compacta	0,0550	0,65	0,036	175	1 030	1,528	
	Painel Metálico	0,0015	0,30	72,000	7 870	447	0,000	

Elemento	Material	L Espessura [m]	α_s Absortividade Solar	λ Condutividade [W/m·K]	ρ Massa Volúmica [kg/m³]	c_s Calor Específico [J/kg·K]	R Resistência Térmica [m²·K/W]	U_{global} Coeficiente de Transferência de Calor [W/m²·K]
Porta Elevador	Painel Inox	0,0025	0,14	13,400	8 238	468	0,000	1,66
	Caixa de Ar 1,5cm	0,0150	-	-	-	-	0,170	
	Painel Inox	0,0025	0,14	13,400	8 238	468	0,000	
	Painel Inox	0,0025	0,14	13,400	8 238	468	0,000	
	Caixa de Ar 1,5cm	0,0150	-	-	-	-	0,170	
	Painel Inox	0,0025	0,14	13,400	8 238	468	0,000	

CAIXILHARIA

Perfil PVC Janelas (H100MM-L78.2MM)	Lâmina PVC 3mm	0,0030	0,26/0,65 ^a	0,170	1 390	900	0,018	0,85
	Lâmina Ar 11,3mm	0,0113	-	-	-	-	0,160	
	Lâmina PVC 2,4mm	0,0024	0,26	0,170	1 390	900	0,014	
	Lâmina Ar 9,7mm	0,0097	-	-	-	-	0,148	
	Lâmina PVC 2,4mm	0,0024	0,26	0,170	1 390	900	0,014	
	Lâmina Ar 16,0mm	0,0160	-	-	-	-	0,198	
	Lâmina PVC 2,4mm	0,0024	0,26	0,170	1 390	900	0,014	
	Lâmina Ar 8,80mm	0,0088	-	-	-	-	0,140	
	Lâmina PVC 2,4mm	0,0024	0,26	0,170	1 390	900	0,014	
	Lâmina Ar 7,2mm	0,0072	-	-	-	-	0,128	
	Lâmina PVC 2,4mm	0,0024	0,26	0,170	1 390	900	0,014	
	Lâmina Ar 7,2mm	0,0072	-	-	-	-	0,128	
	Lâmina PVC 3mm	0,0030	0,26	0,170	1 390	900	0,018	

ELEMENTOS VÍTREOS

SGG CLIMAPLUS 4S BIOCLEAN ^b (VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES)	SGG BIOCLEAN PLANISTAR 6mm	0,006	0,07	1,00	2 500	1 000	0,006	1,40
	Lâmina de Ar 16mm + filme de baixa emissividade	0,016	-	-	-	-	0,532	
	SGG PLANISTAR SUN 6mm	0,006	0,16	1,00	2 500	1 000	0,006	
SGG CLIMALIT SILENCE ^c (VÃOS ENVIDRAÇADOS INTERIORES)	SGG PLANILUX de 6mm	0,006	0,11	1,00	2 500	1 000	0,006	2,20
	Lâmina de Ar 16mm	0,016	-	-	-	-	0,183	
	SGG STADIP SILENCE 44.2A	0,006	0,11	1,00	2 500	1 000	0,006	

^a O valor da absortividade solar poderá variar atendendo à cor circundante da fachada onde o vão se insere.
^b Apresenta um fator solar (*g*) de 0,40.
^c Apresenta um fator solar (*g*) de 0,70.

Tabela A.2 – Propriedades Óticas dos Elementos Vítreos, adaptado de [52] e [53].

Tipo de Vidro	SGG BIOCLEAR PLANISTAR 6mm	SGG PLANISTAR SUN 6mm	SGG PLANILUX 6mm	SGG STADIP SILENCE 44.2A
Transmissividade Solar (incidência normal)	0,825	0,345	0,817	0,817
Refletividade Solar da face frontal (incidência normal)	0,107	0,499	0,074	0,074
Refletividade Solar da face traseira (incidência normal)	0,109	0,368	0,074	0,074
Transmissividade Visível (incidência normal)	0,869	0,784	0,892	0,892
Refletividade Visível da face frontal (incidência normal)	0,114	0,081	0,081	0,081
Refletividade Visível da face traseira (incidência normal)	0,113	0,088	0,081	0,081
Transmissividade do Infravermelho (incidência normal)	0,000	0,000	0,000	0,000
Emissividade Hemisférica do Infravermelho da face frontal	0,845	0,840	0,840	0,840
Emissividade Hemisférica do Infravermelho da face traseira	0,840	0,027	0,840	0,840

Tabela A.3 – Propriedades Óticas e Termofísicas dos Estores de Lona [54].

Tipo de Tela	Lona de Têxtil de alta refletividade
Transmissividade Solar	0,10
Refletividade Solar	0,80
Transmissividade Visível	0,10
Refletividade Visível	0,80
Emissividade Hemisférica do Infravermelho	0,90
Transmissividade do Infravermelho	0,00
Espessura [mm]	1,00
Condutividade [W/m·K]	0,10
Permeabilidade ao Ar	0,01

A.3. Projeto de Iluminação

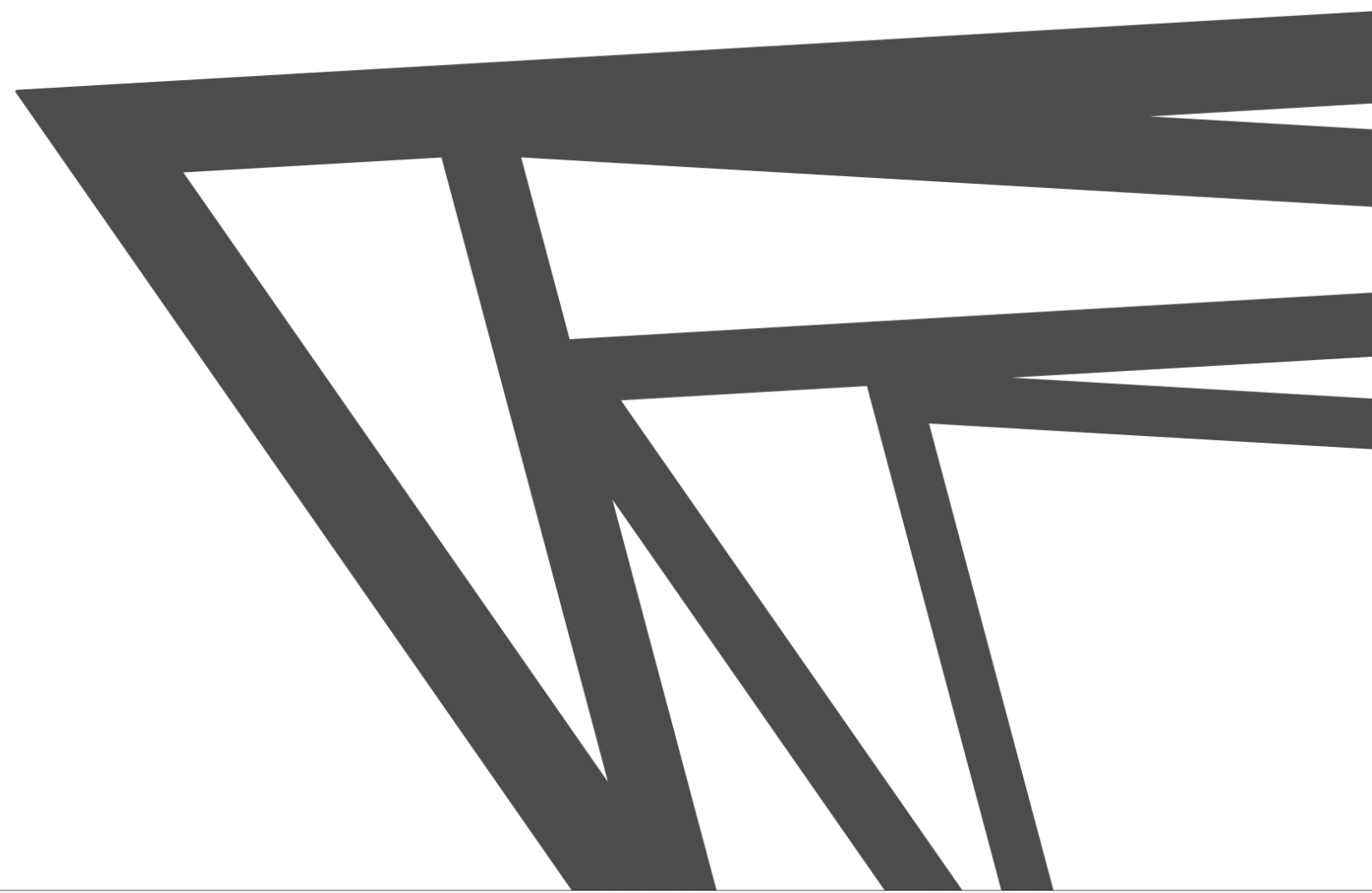
RAFAEL MONGE PALMA
Ciências ULisboa

PROJETO DE ILUMINAÇÃO

Edifício ESNE

estudo prévio

abril de 2018



ESNE

PERFORMANCE DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	ATIVIDADE	TIPOLOGIA	h PLANO DE USO [m]	ILU _{ref} ILUMINÂNCIA DE REFERÊNCIA [lux]	P _{lum} POTÊNCIA DE LUMINÁRIAS [W]	ILU _{méd} ILUMINÂNCIA MÉDIA [lux]	ILU _{min} /ILU _{max} ILUMINÂNCIA mín/max [lux]	q _g DENSIDADE DE POTÊNCIA [W/m²]	DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO [(W/m²)/100lux]			
											DPI _{RECS}	FATOR DE CONTROLO (F _o /F _D)	DPI _{nominal} (D _p /ILU _{méd})-100	DPI _{norma} ((D _p ·F _o ·F _D)/ILU _{méd})-100

PISO 0

E.0.1	Armazém	165.2	Espaços Compl./Armazéns	Armazenamento	0.80	300	870.0	820	356/1177	5.3	3.4	0.9	0.6	0.6
E.0.1a	Arrumos Armazém	7.8	Espaços Compl./Armazéns	Armazenamento	0.80	300	49.2	386	180/543	6.3	3.4	1.0	1.6	1.6
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5	Espaços Compl./Armazéns	Sala de Baterias	0.80	500	174.0	489	205/854	4.2	3.4	1.0	0.9	0.9
E.0.3	Loja	102.0	Pequenas Lojas	Lojas de Comércio	0.80	500	696.0	1006	513/1531	6.8	3.4	1.0	0.7	0.7
E.0.3a	Escritório Loja	10.4	Escritórios	Gabinetes	0.80	500	58.0	715	387/1262	5.6	2.4	1.0	0.8	0.8
E.0.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	459	14.3/662	13.5	3.8	1.0	2.9	2.9
E.0.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	506	14.8/759	11.0	3.8	1.0	2.2	2.2

PISO 1

E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	Est. Ensino Superior	Laboratórios	0.80	500	624.0	483	345/665	6.4	2.4	1.0	1.3	1.3
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	Espaços Compl./Armazéns	Arquivos/Arrumos	0.80	300	24.6	409	243/556	5.2	3.4	1.0	1.3	1.3
E.1.2	Sala Refeições	15.8	Est. Ensino Superior	Salas Refeições	0.80	500	100.0	445	249/687	6.3	3.8	0.9	1.4	1.3
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	504	307/759	11.0	3.8	1.0	2.2	2.2
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	510	396/693	13.5	3.8	1.0	2.7	2.7
E.1.5	Zona Técnica	7.5	Espaços Compl./Armazéns	Zonas Técnicas	0.80	200	62.1	459	273/536	8.3	3.4	1.0	1.8	1.8
E.1.6	Gabinete 4	21.8	Escritórios	Gabinetes	0.80	500	120.0	496	317/614	5.5	2.4	0.8	1.1	0.9
E.1.7	Gabinete 3	15.6	Escritórios	Gabinetes	0.80	500	90.0	417	140/571	5.8	2.4	0.8	1.4	1.1
E.1.8	Gabinete 2	25.6	Escritórios	Gabinetes	0.80	500	160.0	462	337/587	6.3	2.4	0.8	1.4	1.1
E.1.8a	Arquivo	7.5	Espaços Compl./Armazéns	Arquivos/Arrumos	0.80	300	49.2	547	402/629	6.5	3.4	1.0	1.2	1.2
E.1.9	Gabinete1	33.2	Escritórios	Gabinetes	0.80	500	194.0	434	195/570	5.8	2.4	0.8	1.3	1.1
E.1.10	Sala de Reuniões	32.2	Escritórios	Salas de Reuniões	0.80	500	160.0	532	378/640	5.0	2.4	0.9	0.9	0.8
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6	Est. Ensino Superior	Laboratórios	0.80	500	468.0	518	431/751	6.2	2.4	1.0	1.2	1.2
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	4.3	Espaços Compl./Armazéns	Arquivos/Arrumos	0.80	300	24.6	472	385/535	5.8	3.4	1.0	1.2	1.2

PISO 2

E.2.1	Auditório	109.6	Est. Ensino Superior	Auditórios	0.80	500	879.2	676	224/2441	8.0	2.4	0.7	1.2	0.9
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.2	Espaços Compl./Armazéns	Arquivos/Arrumos	0.80	300	90.0	700	465/841	8.9	3.8	1.0	1.3	1.3
E.2.2	Copa	14.3	Espaços Compl./Armazéns	Copas/Pequenas Cozinhas	0.80	500	110.0	470	198/757	7.7	3.8	0.9	1.6	1.5
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	492	258/719	11.0	3.8	1.0	2.2	2.2
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Sanitários	0.80	300	60.0	459	345/625	13.5	3.8	1.0	2.9	2.9
E.2.5	Zona Técnica	36.0	Espaços Compl./Armazéns	Zonas Técnicas	0.80	200	172.2	600	252/1013	4.8	3.4	1.0	0.8	0.8

ZONAS DE CIRCULAÇÃO

ZCIR.0	Zona de Circulação Central	74.8	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	461.4	475	224/713	6.2	3.8	0.7	1.3	0.9
ZCIR.1	Zona de Acesso 1	64.8	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	418.2	544	289/699	6.5	3.8	0.7	1.2	0.9
ZCIR.2	Zona de Acesso 2	20.8	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	123.0	479	246/600	5.9	3.8	0.7	1.2	0.9
ELV	Elevador	3.3	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	272.0	350	169/345	10.5	3.8	1.0	3.0	3.0
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	187.0	472	188/684	13.2	3.8	1.0	2.8	2.8
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	Zonas de Circulação	Corredores/Escadas	0.80	100	187.0	415	188/571	12.9	3.8	1.0	3.1	3.1

ZONAS EXTERIORES

TERR	Terraço Técnico	170.2	Espaços Exteriores	Sem requisitos RECS	0.40	100	248.2	41	0.34/5264	1.5	n/a	n/a	3.5	n/a
------	-----------------	-------	--------------------	---------------------	------	-----	-------	----	-----------	-----	-----	-----	-----	-----

OBSERVAÇÕES:

A tabela ao lado concentra os resultados da performance do sistema de iluminação projetado e simulado com recurso ao DIALux evo 7.1. A iluminância média mantida em cada espaço foi obtida num cenário com ausência de luz solar ou de iluminação artificial exterior. Apresenta-se também o valor de Densidade de Potência de Iluminação (DPI) em [(W/m²)/100lux] em termos nominais e de acordo com a metodologia prevista na Portaria n.º 349-D/2013, que estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes de comércio e serviços ao abrigo do RECS (Decreto-Lei n.º118/2013). Neste projeto todos os espaços apresentam o valor de DPI abaixo do limite máximo. Contudo chama-se a atenção para os valores de iluminância média no Armazém (E.0.1) e na Loja (E.0.3), que aparentemente poderão ser considerados anómalos. Para a simulação destas divisões, assim como, das zonas técnicas e espaços de arrumos, foram considerados espaços sem mobiliário ou obstáculos não estruturais dado não ser possível nesta fase do projeto prever a forma de como serão ocupados por equipamentos e mobiliários. Como tal o sistema de iluminação está sobredimensionado de forma a que consiga cumprir os requisitos de iluminância mínima e de DPI máximo quando ocupado com mobiliário e equipamentos.

O edifício terá um Sistema Global de Gestão que permitirá ajustar as necessidades de iluminação em cada espaço/divisão atendendo à sua ocupação e à presença de iluminação natural. Este projeto tem como fim definir o perfil base de performance do sistema de iluminação, de forma a que possa ser devidamente simulado em termos de consumo de energia elétrica e da sua influência na carga térmica de cada espaço/divisão pelo EnergyPlus.

Nas folhas que seguem é apresentado: (i) as características técnicas de cada luminária; (ii) a localização e disposição de cada luminária em planta e em corte; (iii) as linhas isográficas de iluminância para cada espaço/divisão no plano de uso.

AUTOR:
Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa

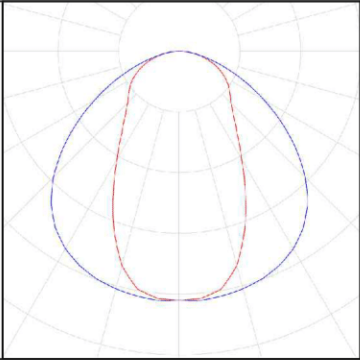
TIPO DE PROJETO:

Projeto de Iluminação
Estudo Prévio

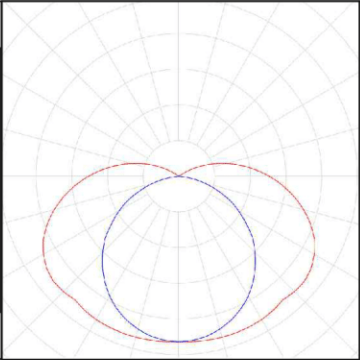
DATA:
abril
2018

folha
1 / 15

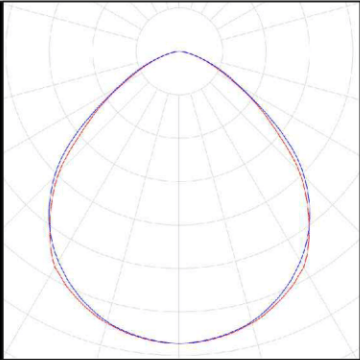
ID	1
Fabricante	Ridi Leuchten GmbH
Modelo	1522456 VLPG-F280-5NDWS-1770T840
Modelo Lâmpada	2xLED-M VLPG-F 8800-840
Potência Elétrica Lâmpada [W]	50.0
Potência Elétrica Luminária [W]	58.0
Grau de Atuação Operacional [%]	81.8
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	8800
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	7194
Rendimento Luminoso [lm/W]	124.0
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Encastrada no teto
Altura de Montagem [m]	3.0-3.6



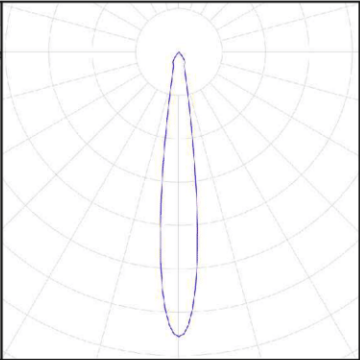
ID	6
Fabricante	Halla
Modelo	Indi 108-301K-20GEE/840, B
Modelo Lâmpada	1xLED integrado
Potência Elétrica Lâmpada [W]	-
Potência Elétrica Luminária [W]	20.7
Grau de Atuação Operacional [%]	100.0
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	-
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	2140
Rendimento Luminoso [lm/W]	103.4
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI80
Tipo de Montagem	A superfície da parede
Altura de Montagem [m]	2.5



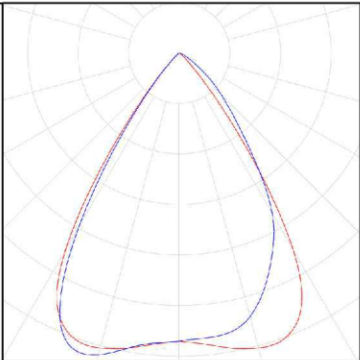
ID	2
Fabricante	Luxiona
Modelo	Rubin Clean Class 3-6 No Frame LED
Modelo Lâmpada	1xLED 3750LM SHM 840 2KRG3K
Potência Elétrica Lâmpada [W]	23.0
Potência Elétrica Luminária [W]	24.6
Grau de Atuação Operacional [%]	75.1
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	3750
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	2818
Rendimento Luminoso [lm/W]	114.5
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Encastrada no teto
Altura de Montagem [m]	3.0-3.6



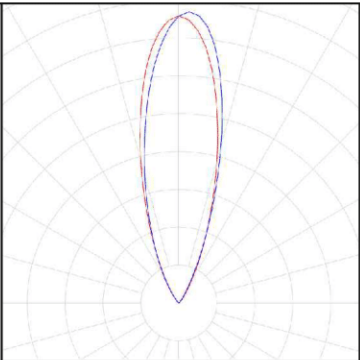
ID	7
Fabricante	Halla
Modelo	Ixyo 72-600S-10GIE/840, W
Modelo Lâmpada	1xLED 28W/840
Potência Elétrica Lâmpada [W]	28.0
Potência Elétrica Luminária [W]	32.3
Grau de Atuação Operacional [%]	100.0
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	3852
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	3852
Rendimento Luminoso [lm/W]	119.3
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	A superfície do teto
Altura de Montagem [m]	2.8



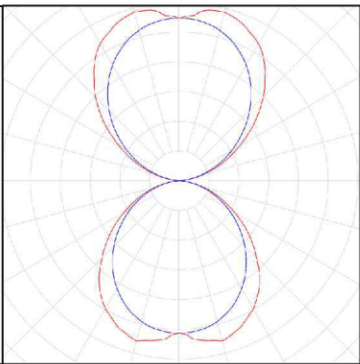
ID	3
Fabricante	WILA
Modelo	Alphabet Spectra AS1102113-30-40
Modelo Lâmpada	1xLED 83819R10-AS
Potência Elétrica Lâmpada [W]	10.0
Potência Elétrica Luminária [W]	10.0
Grau de Atuação Operacional [%]	100.0
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	900
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	900
Rendimento Luminoso [lm/W]	90.0
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Encastrada no teto
Altura de Montagem [m]	3.0



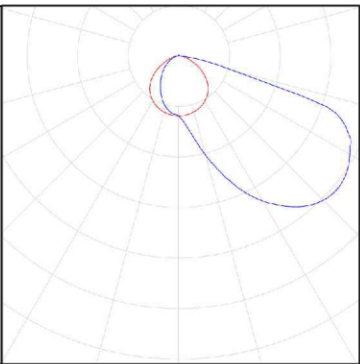
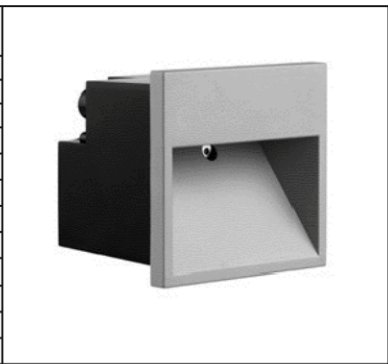
ID	8
Fabricante	MP Lighting
Modelo	L369 3W 4000K 30°
Modelo Lâmpada	1xLED 3W 330LM 4000K
Potência Elétrica Lâmpada [W]	3.0
Potência Elétrica Luminária [W]	3.0
Grau de Atuação Operacional [%]	51.6
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	330
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	170
Rendimento Luminoso [lm/W]	56.7
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Embutido no chão
Altura de Montagem [m]	0.0



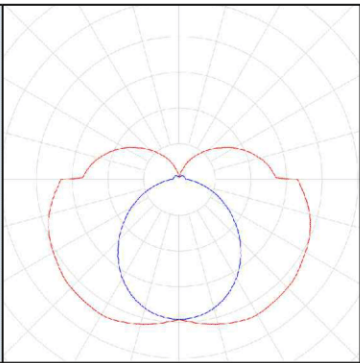
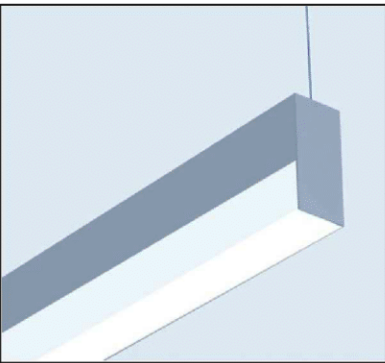
ID	4
Fabricante	PSM Lighting
Modelo	MAMBO 3051
Modelo Lâmpada	2xCorePro LED PLC 8.5W 840 2P G24d-3
Potência Elétrica Lâmpada [W]	17.0
Potência Elétrica Luminária [W]	17.0
Grau de Atuação Operacional [%]	69.9
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	1800
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	1259
Rendimento Luminoso [lm/W]	74.1
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	A superfície da parede
Altura de Montagem [m]	1.8




ID	9
Fabricante	FLOS
Modelo	Mini Box 07.9006/PW
Modelo Lâmpada	1xLED PCB02-028V2 7W
Potência Elétrica Lâmpada [W]	7.0
Potência Elétrica Luminária [W]	7.3
Grau de Atuação Operacional [%]	34.5
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	900
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	310
Rendimento Luminoso [lm/W]	42.5
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Embutido na parede
Altura de Montagem [m]	0.5



ID	5
Fabricante	Lightnet
Modelo	Matric-G1 LG1FEE-840m-L1475-AS
Modelo Lâmpada	1xLED integrado
Potência Elétrica Lâmpada [W]	-
Potência Elétrica Luminária [W]	26.0
Grau de Atuação Operacional [%]	100.0
Fluxo Luminoso Lâmpada [lm]	-
Fluxo Luminoso Luminária [lm]	2466
Rendimento Luminoso [lm/W]	94.8
Indicações Colorimétricas	CCT 4000K CRI84
Tipo de Montagem	Suspensa no teto
Altura de Montagem [m]	2.5



 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa	
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio	
LUMINÁRIAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		DATA: abril 2018	folha 2 / 15


Grelhas de Sombreamento



Entradas
Armazém




ID	DESIGNAÇÃO	AREA [m²]	P _{lum} [W]
E.O.1	Armazém	165.2	870.0
E.O.1a	Arrumos Armazém	7.8	49.2
E.O.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5	174.0
E.O.3	Loja	102.0	696.0
E.O.3a	Escritório Loja	10.4	58.0
E.O.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	60.0
E.O.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	60.0
ZCIR.0	Corredor e Zonas de Circulação	74.8	461.4
ELV	Elevador	3.3	—
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	272.0
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	187.0

 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS PLANTA PISO 0		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 3 / 15

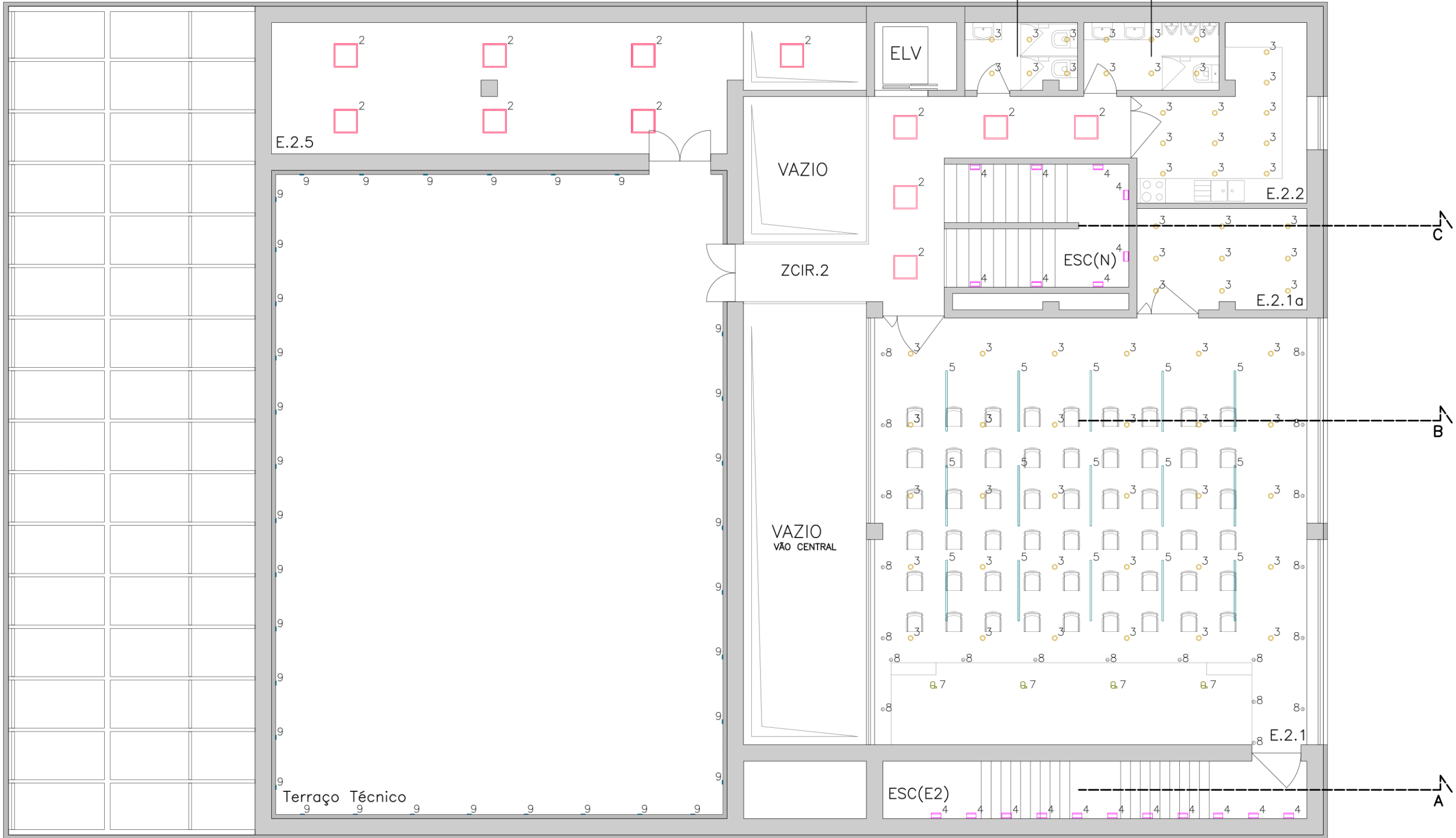
Grelhas de Sombreamento
////////////////////




ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	P _{lum} [W]	E.1.9	Gabinete 1	33.2	194.0
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	624.0	E.1.10	Sala de Reuniões	32.2	160.0
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	24.6	E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6	468.0
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	100.0	E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3	24.6
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	60.0	ZCIR.1	Corredor e Zonas de Circulação	64.8	418.2
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	60.0	ELV	Elevador	3.3	—
E.1.5	Zona Técnica	7.5	62.1	ESC(N)	Escadas Norte	26.0	272.0
E.1.6	Gabinete 4	21.8	120.0	ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	187.0
E.1.7	Gabinete 3	15.6	90.0	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	187.0
E.1.8	Gabinete 2	25.6	160.0				
E.1.8a	Arquivo	7.5	49.2				

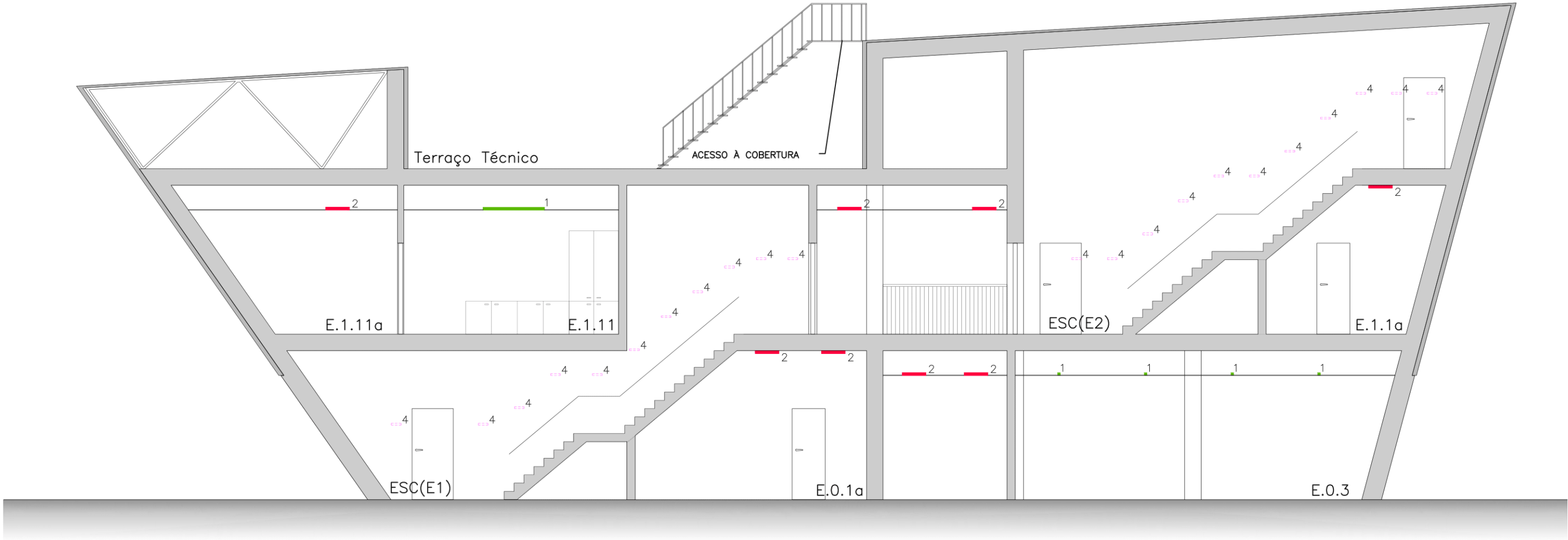
 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS PLANTA PISO 1		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 4 / 15

Grelhas de Sombreamento
////////////////////




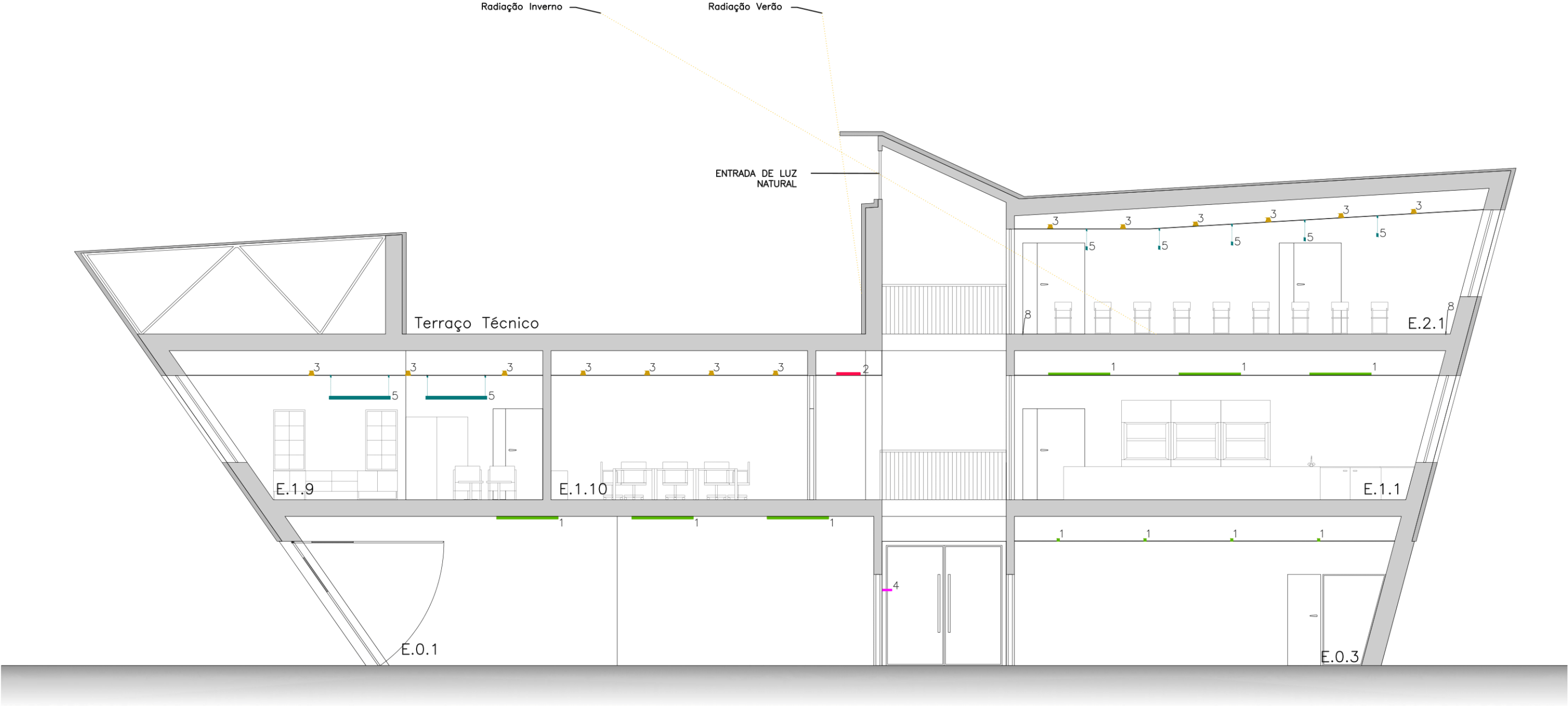
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	P _{lum} [W]	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	187.0
E.2.1	Auditório	109.4	879.2				
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.3	90.0				
E.2.2	Copa	14.2	110.0				
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	60.0				
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	60.0				
E.2.5	Zona Técnica	41.2	172.2				
ZCIRC.2	Corredor e Zonas de Circulação	20.5	123.0				
ELV	Elevador	3.3	—				
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	272.0				

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS PLANTA PISO 2		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 5 / 15




ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1a	Arrumos Armazém
E.0.3	Loja
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS CORTE A		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 6 / 15




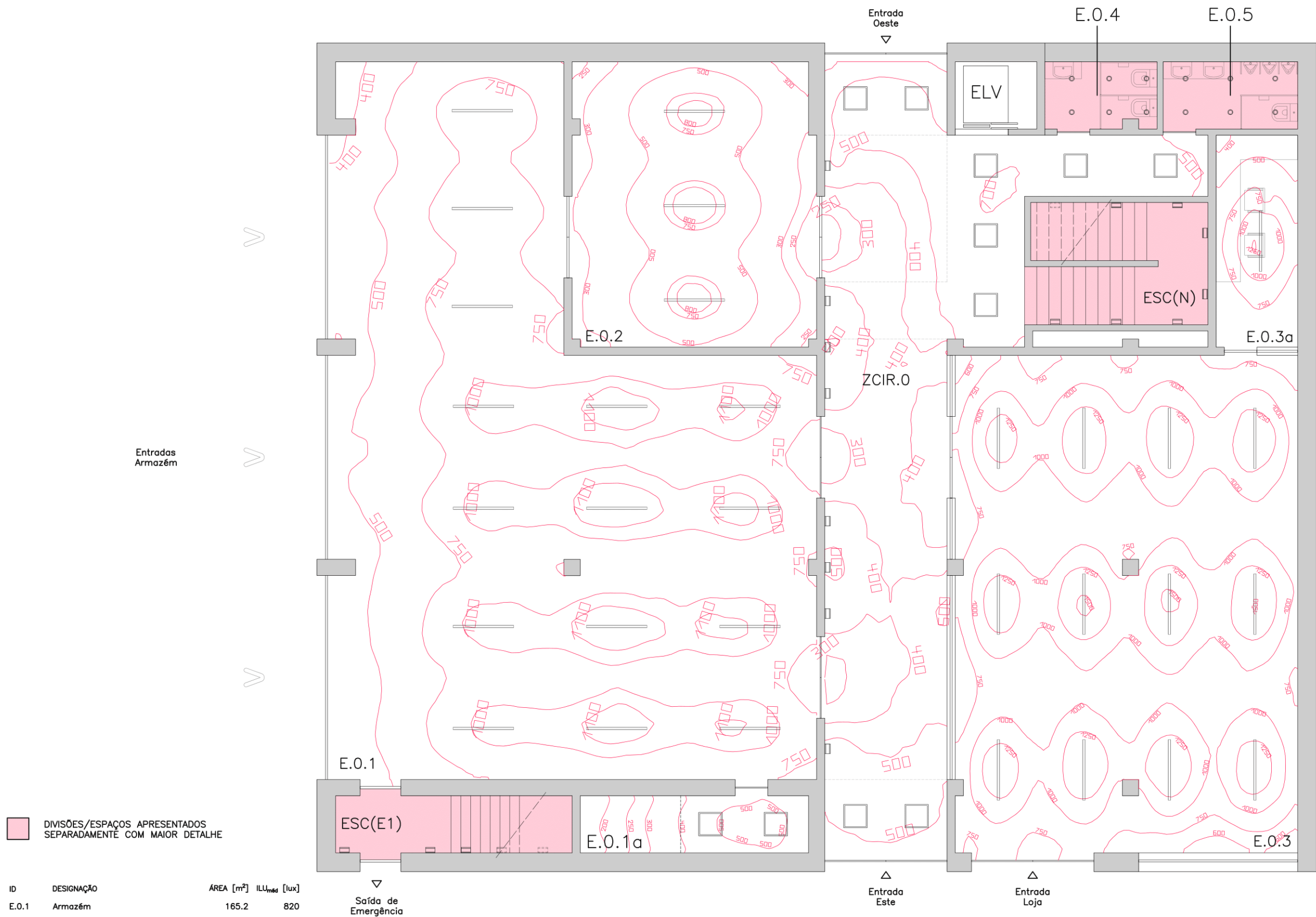
ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1	Armazém
E.0.3	Loja
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia
E.1.9	Gabinete 1
E.1.10	Sala de Reuniões
E.2.1	Auditório

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS CORTE B		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 7 / 15




ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1	Armazém
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores
E.0.3a	Escritório Loja
E.1.2	Sala de Refeições
E.1.6	Gabinete 4
E.1.7	Gabinete 3
E.1.8	Gabinete 2
E.2.1a	Arrumos Auditório

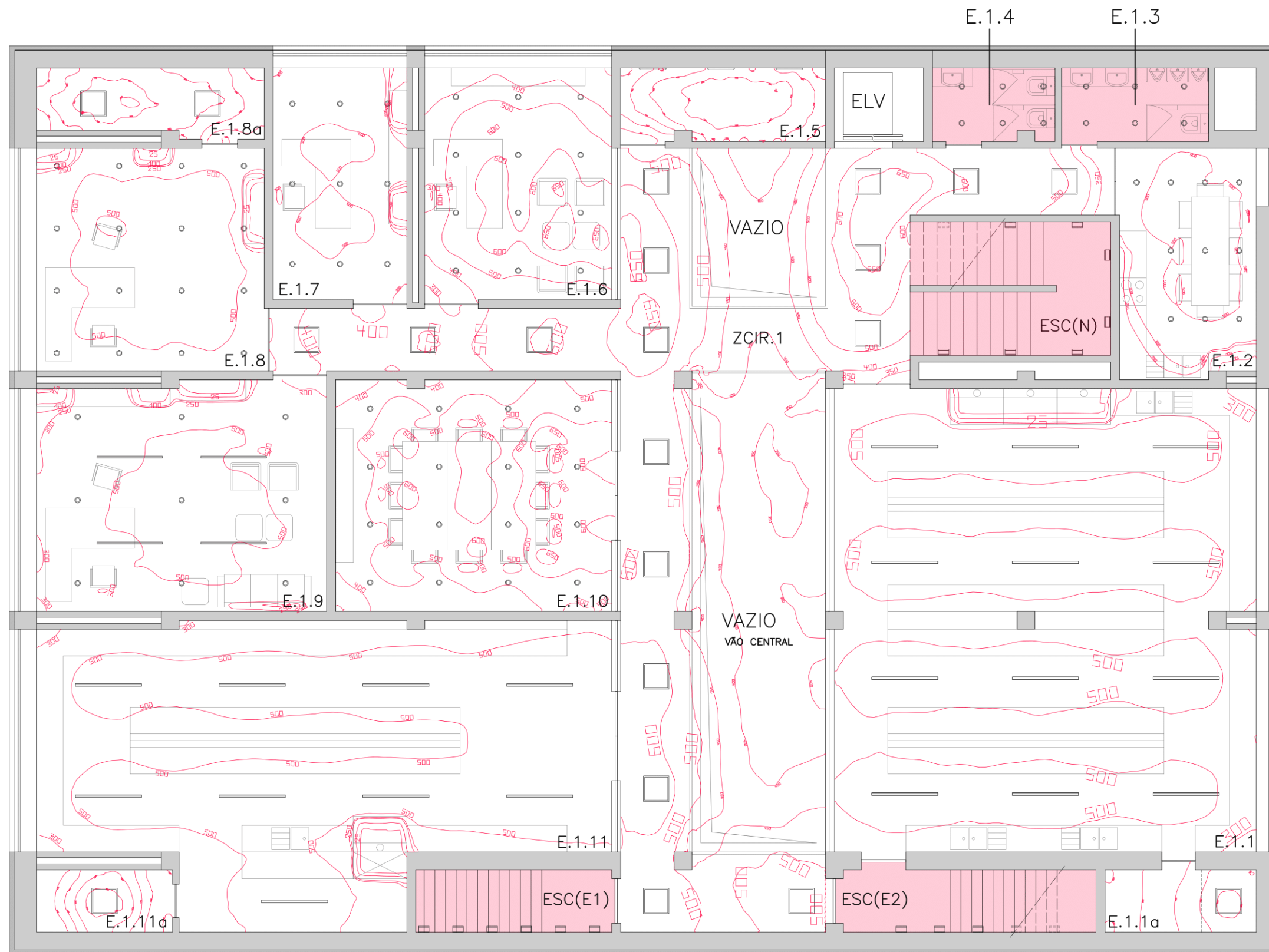
 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LUMINÁRIAS CORTE C		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 8 / 15



DIVISÕES/ESPAÇOS APRESENTADOS SEPARADAMENTE COM MAIOR DETALHE


ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	ILU _{méd} [lux]
E.O.1	Armazém	165.2	820
E.O.1a	Arrumos Armazém	7.8	386
E.O.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5	489
E.O.3	Loja	102.0	1006
E.O.3a	Escritório Loja	10.4	715
E.O.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	459
E.O.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	506
ZCIR.0	Corredor e Zonas de Circulação	74.8	475
ELV	Elevador	3.3	—
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	350
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	472

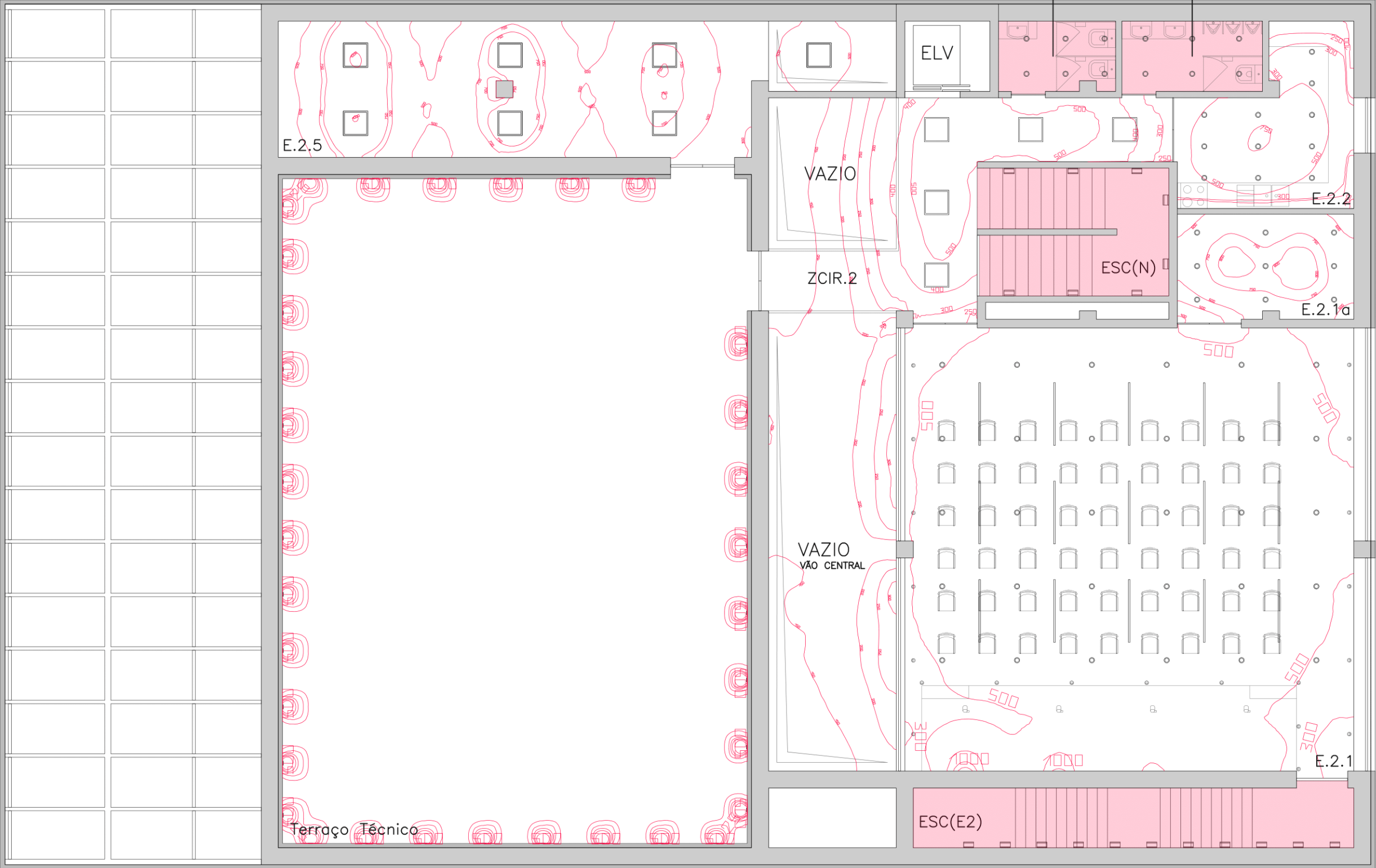
<div> ESNE</div> <div>edifício de serviços com balanço nulo de energia</div>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.		LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO PISO 0		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 9 / 15



ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	ILU _{med} [lux]	E.1.9	Gabinete 1	33.2	434
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	483	E.1.10	Sala de Reuniões	32.2	532
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	409	E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6	518
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	445	E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3	472
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	504	ZCIRC.1	Corredor e Zonas de Circulação	64.8	544
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	510	ELV	Elevador		
E.1.5	Zona Técnica	7.5	459	ESC(N)	Escadas Norte		
E.1.6	Gabinete 4	21.8	496	ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1		
E.1.7	Gabinete 3	15.6	417	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2		
E.1.8	Gabinete 2	25.6	462				
E.1.8a	Arquivo	7.5	547				

DIVISÕES/ESPAÇOS APRESENTADOS SEPARADAMENTE COM MAIOR DETALHE


 edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO PISO 1		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 10 / 15

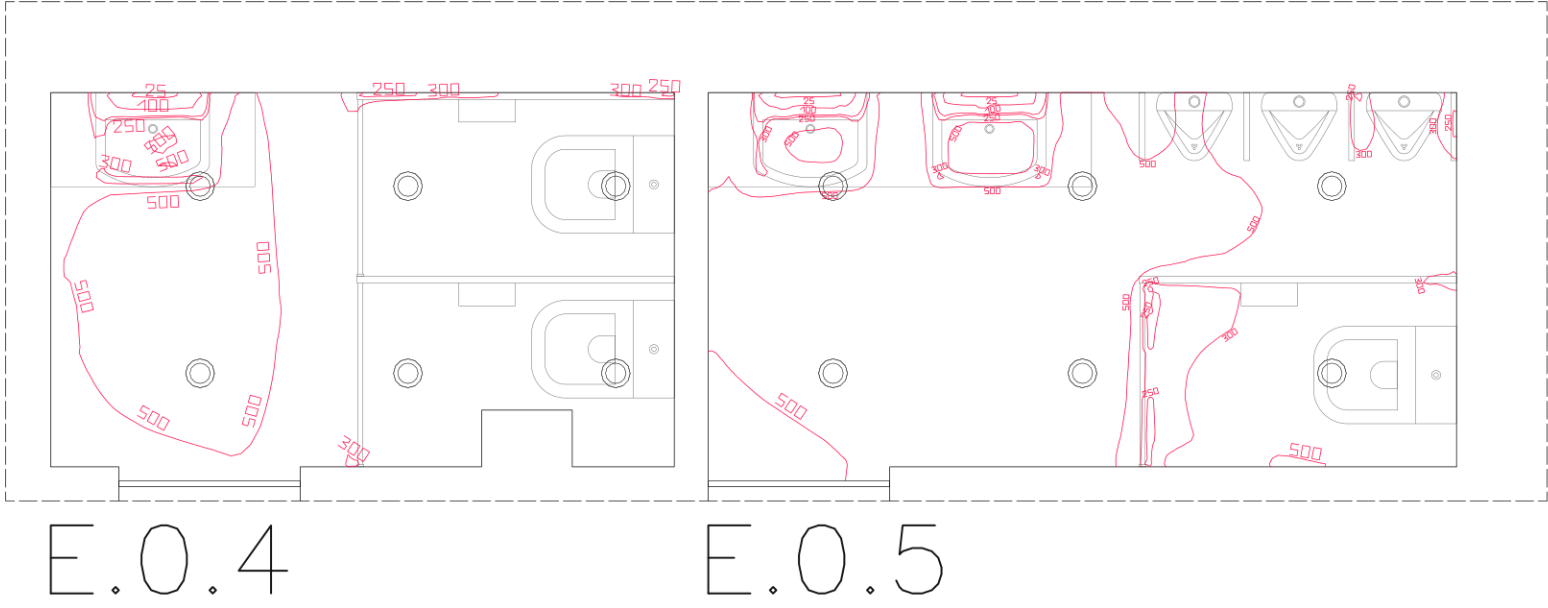


ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	ILL _{med} [lux]
E.2.1	Auditório	109.4	676
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.3	700
E.2.2	Copa	14.2	470
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	492
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	459
E.2.5	Zona Técnica	41.2	600
ZCIR.2	Corredor e Zonas de Circulação	20.5	479
ELV	Elevador	3.3	—
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	350

ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	415
TERR	Terraço Técnico	170.2	41

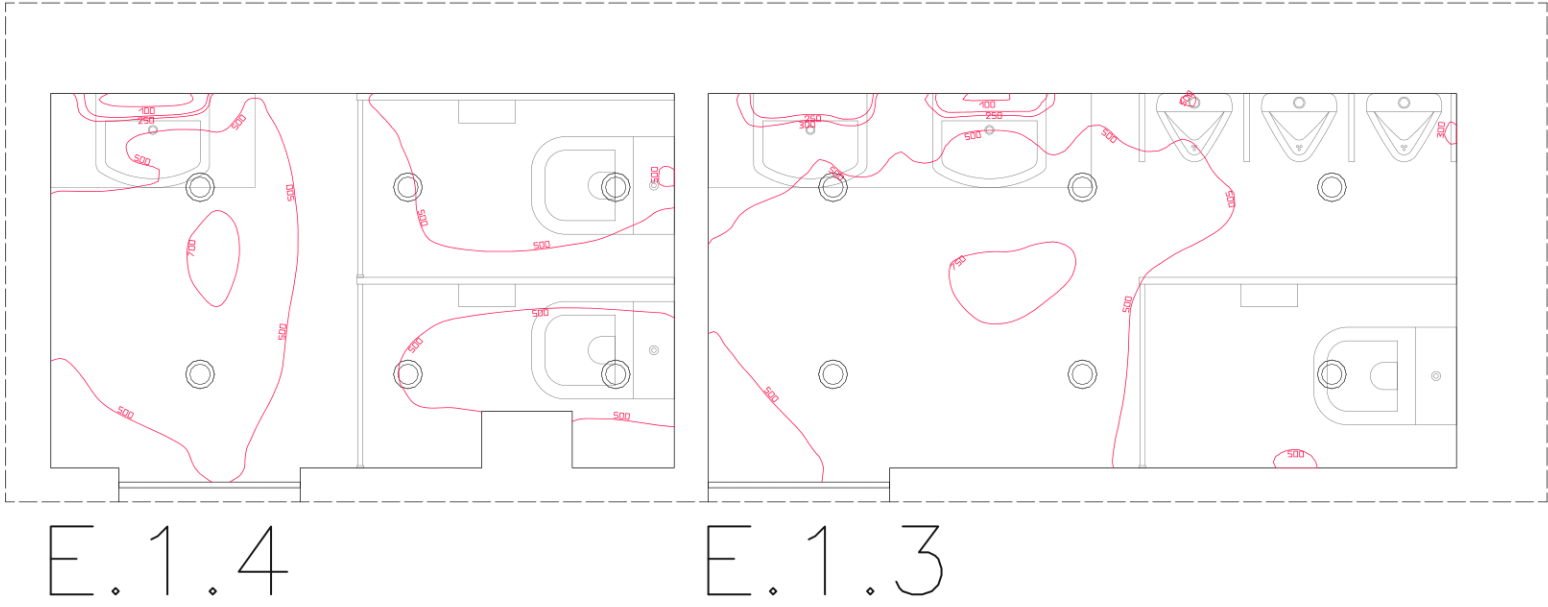
 DIVISÕES/ESPAÇOS APRESENTADOS SEPARADAMENTE COM MAIOR DETALHE

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO PISO 2		DATA: abril 2018	escala 1/100	folha 11 / 15



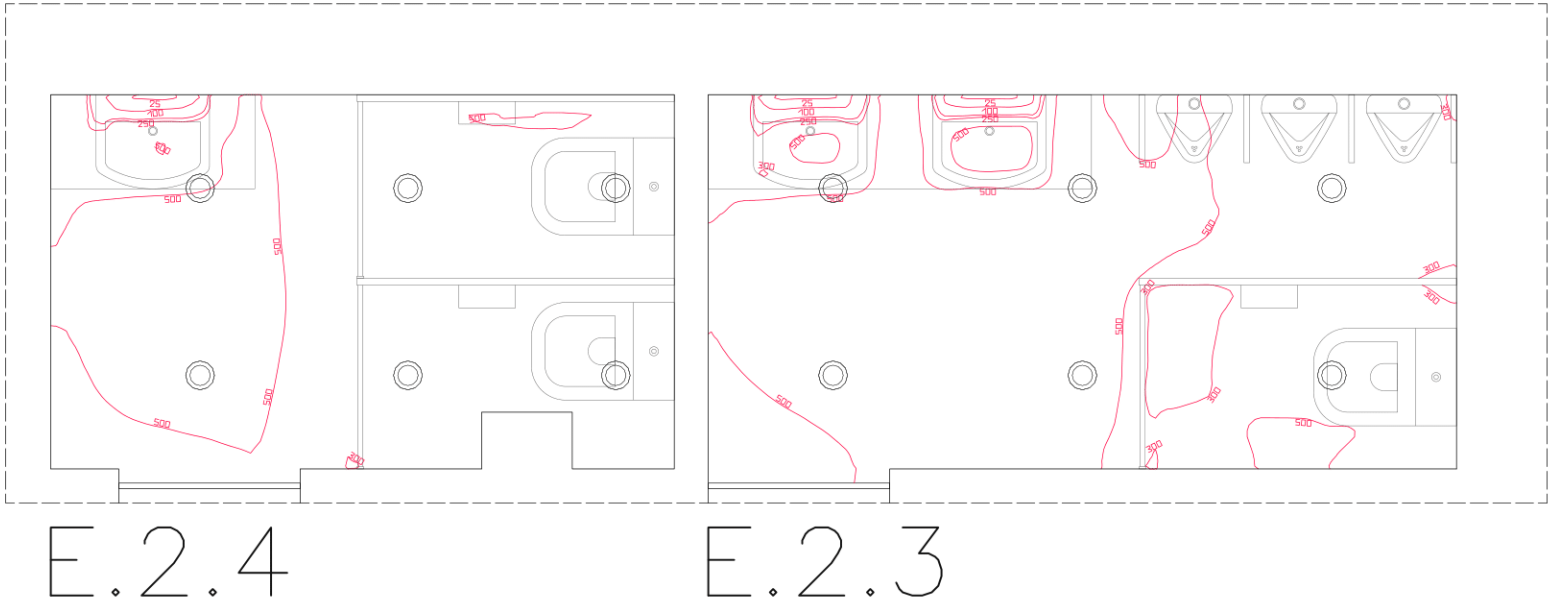
INSTALAÇÕES
SANITÁRIAS
Piso 0

ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m ²]	ILU _{méd} [lux]
E.0.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	459
E.0.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	506




INSTALAÇÕES
SANITÁRIAS
Piso 1

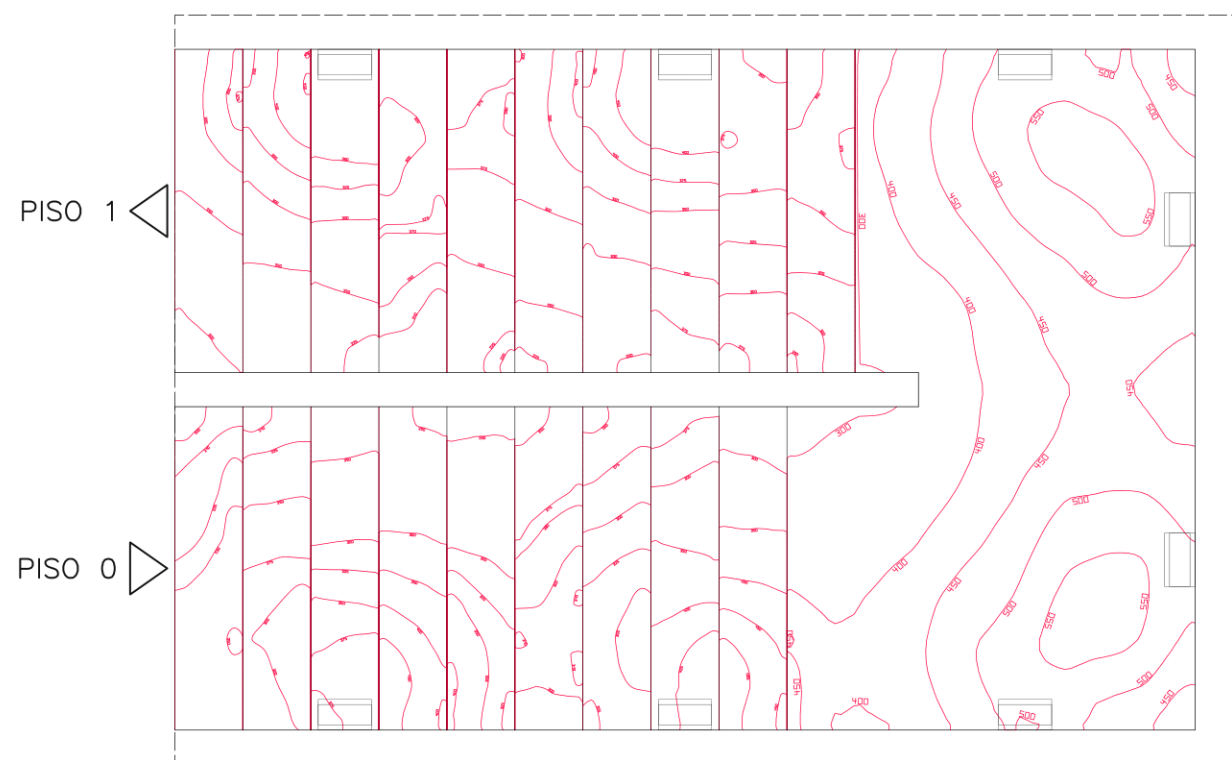
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m ²]	ILU _{méd} [lux]
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	504
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	510



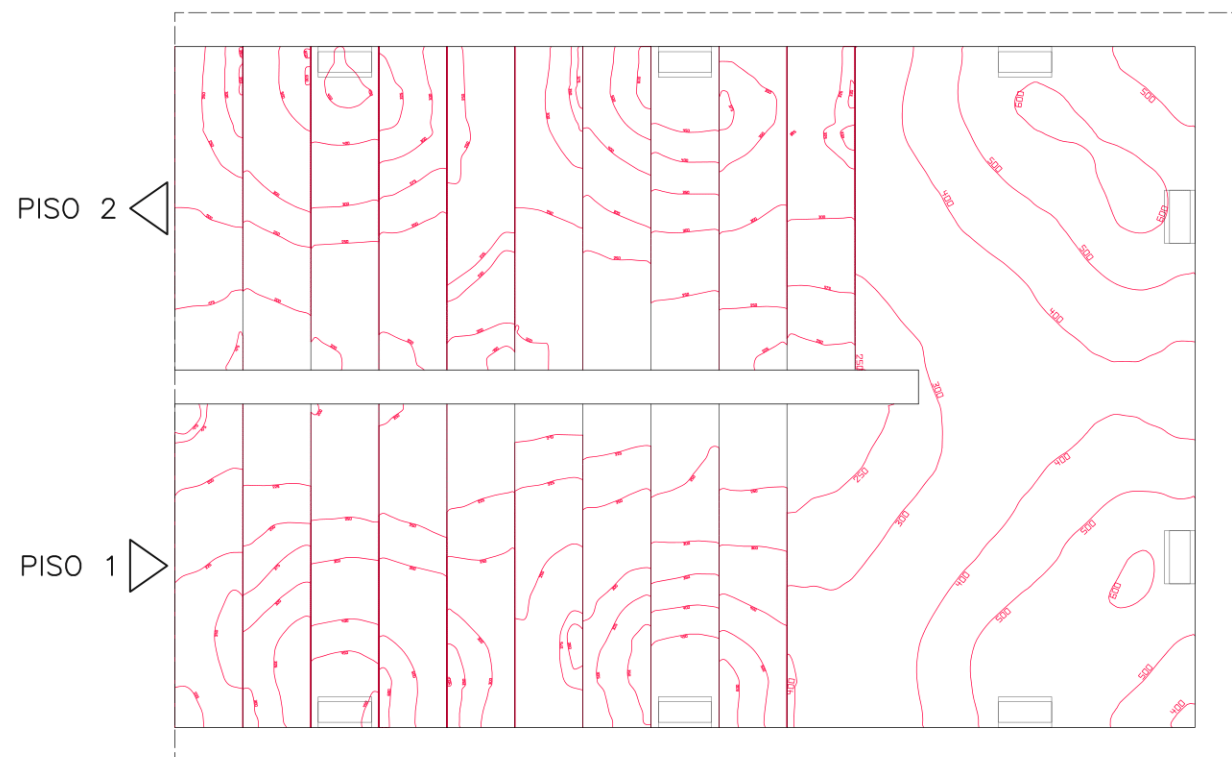
INSTALAÇÕES
SANITÁRIAS
Piso 2

ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m ²]	ILU _{méd} [lux]
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	492
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	459

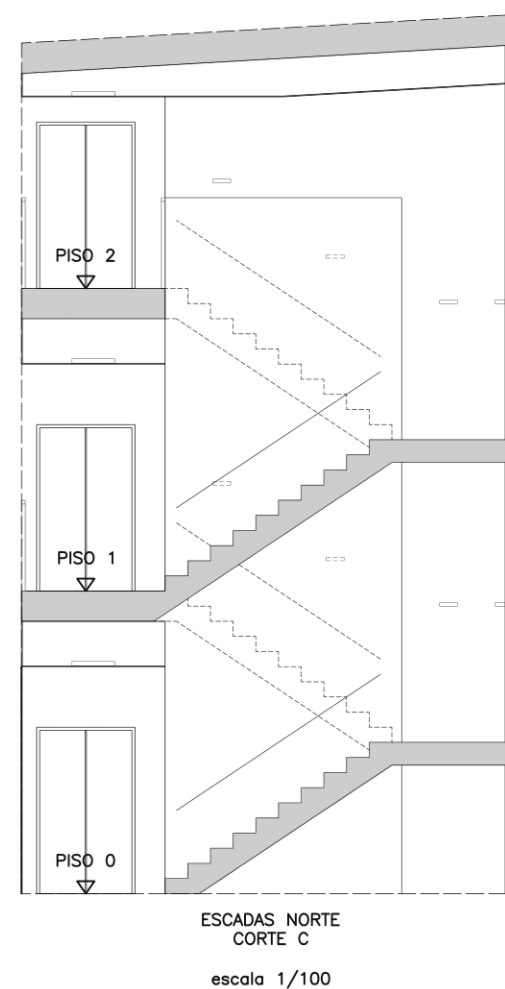
 <div>edifício de serviços com balanço nulo de energia</div>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO INSTALAÇÕES SANITÁRIAS		DATA: abril 2018	escala 1/(100)	folha 12 / 15




LANCE
Piso 0/Piso 1

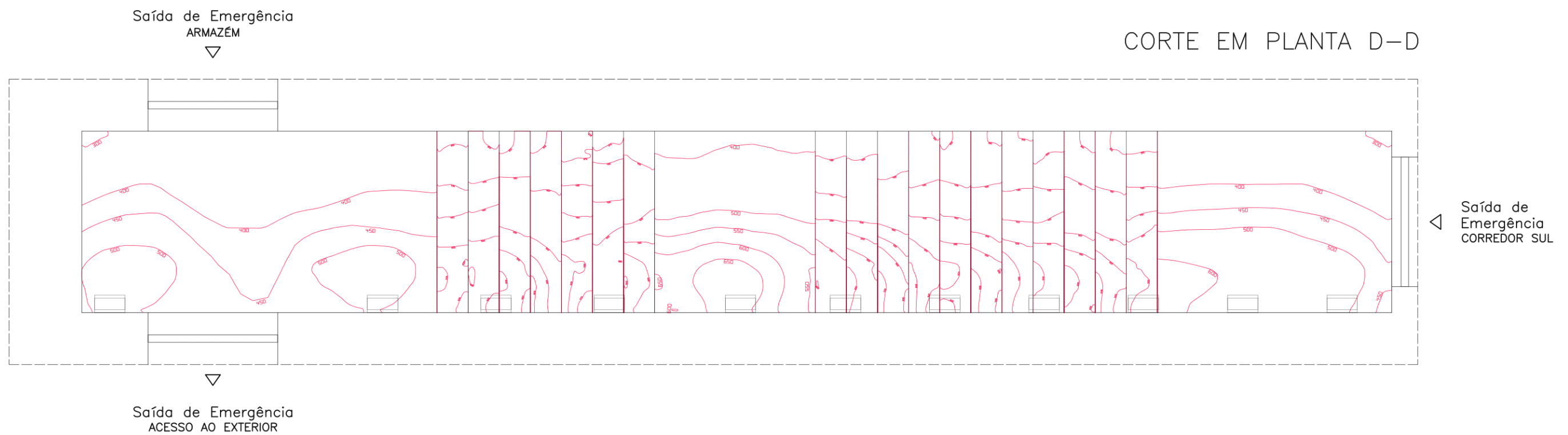
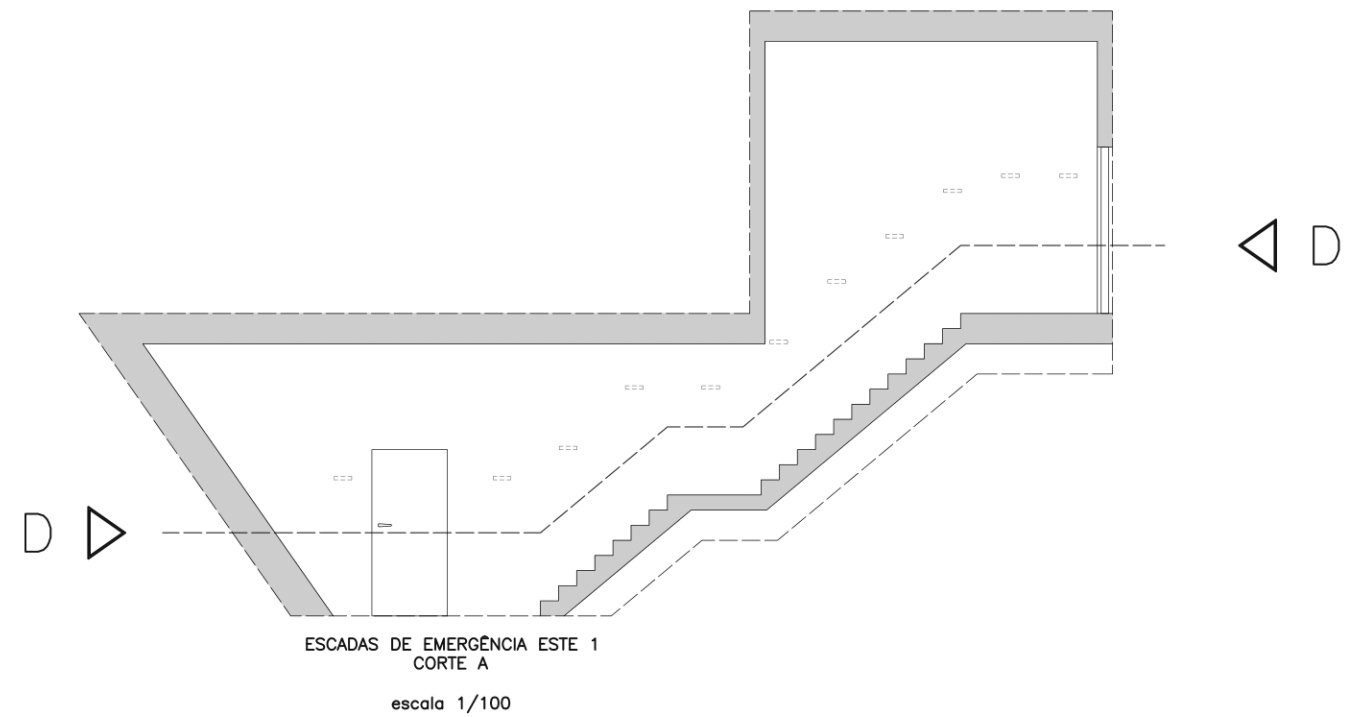


LANCE
Piso 1/Piso 2




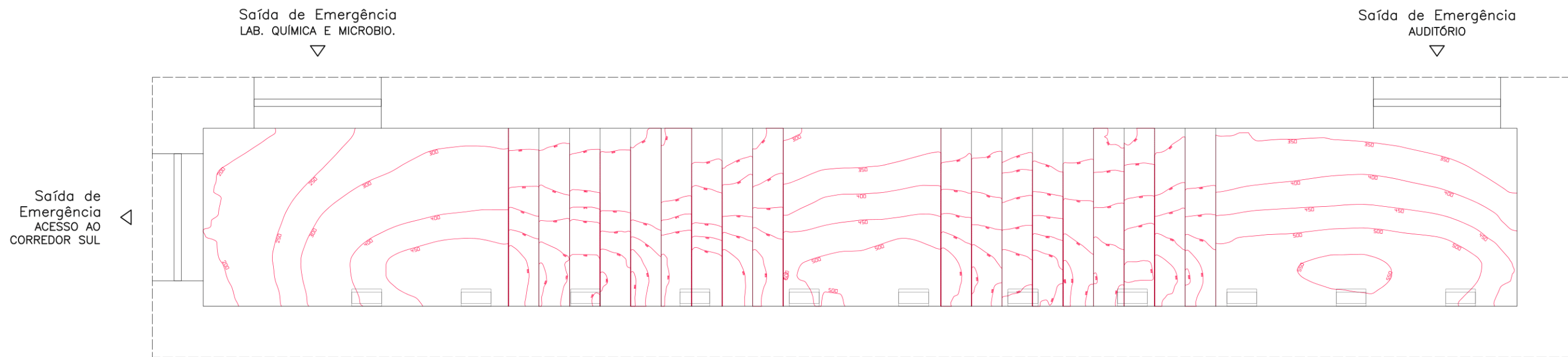
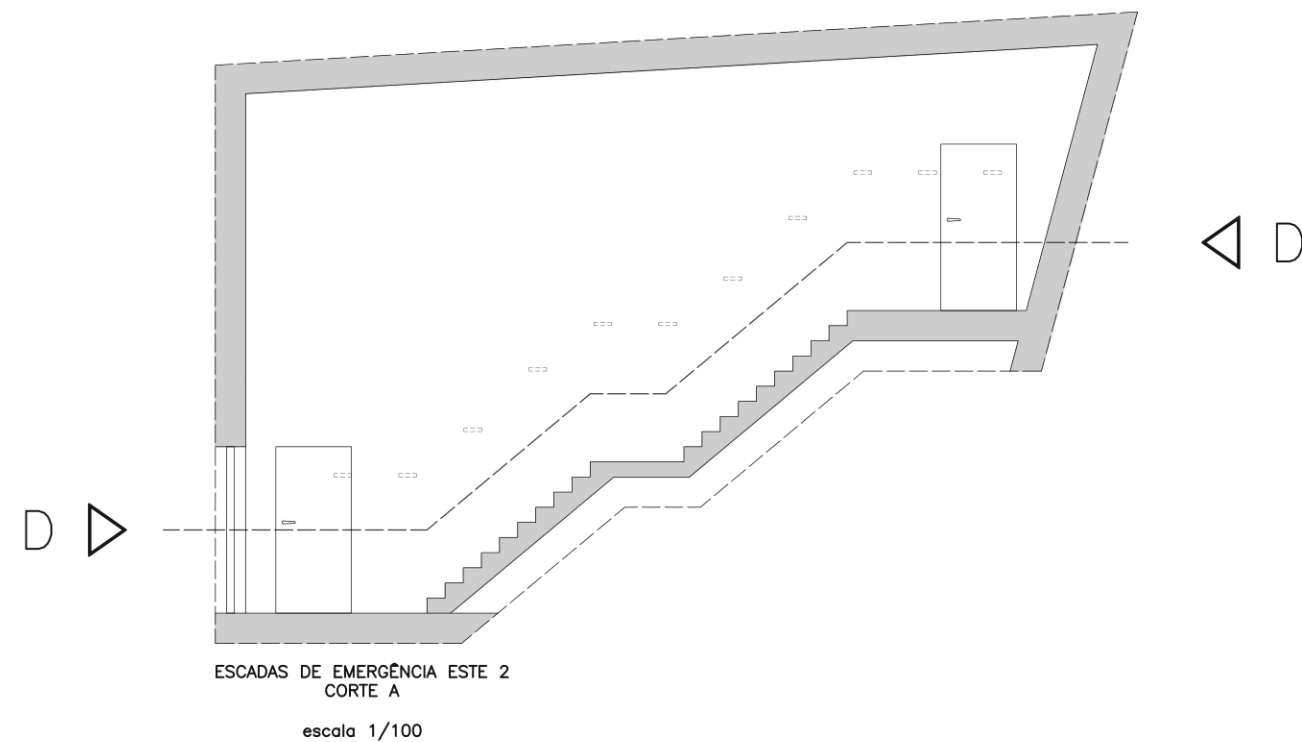
ID	DESIGNAÇÃO	AREA [m ²]	Pl _{um} [W]	ILU _{méd} [lux]
ESC(N)	Lance Piso 0/Piso 1	13.0	136.0	366
ESC(N)	Lance Piso 1/Piso 2	13.0	136.0	343

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO ESCADAS NORTE		DATA: abril 2018	escala 1/(100)	folha 13 / 15




ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m ²]	P _{lum} [W]	ILU _{méd} [lux]
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	187.0	472

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO ESCADAS DE EMERGÊNCIA ESTE 1		DATA: abril 2018	escala 1/(100) 3	folha 14 / 15



CORTE EM PLANTA D-D

ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m ²]	P _{lum} [W]	ILU _{méd} [lux]
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	187.0	415

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJETO: Projeto de Iluminação Estudo Prévio		
LINHAS ISOGRÁFICAS DE ILUMINÂNCIA PLANO DE USO ESCADAS DE EMERGÊNCIA ESTE 2		DATA: abril 2018	escala 1/(100) 3	folha 15 / 15

A.4. Projeto de Ventilação Mecânica

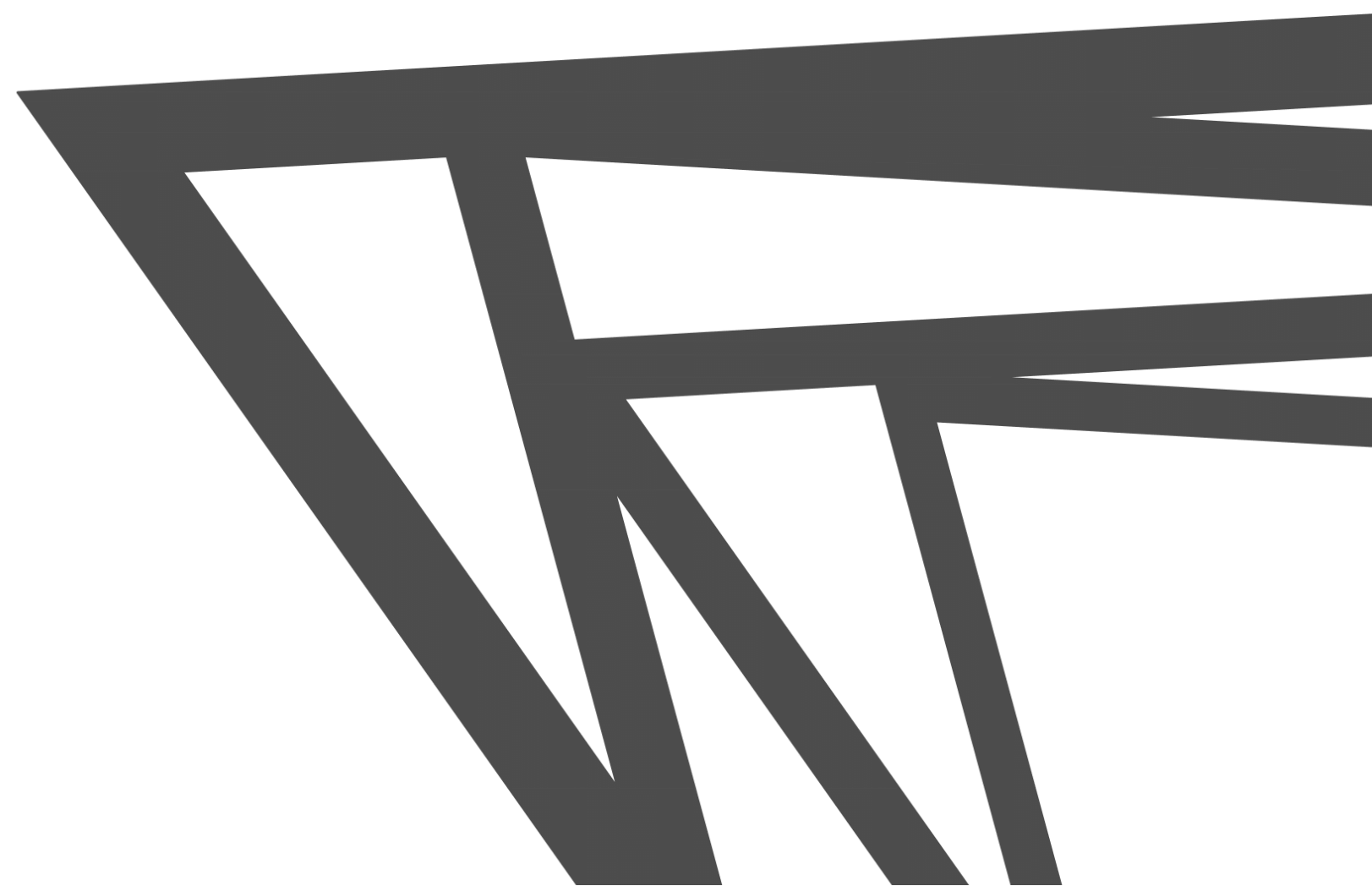
CARLOS AIRES
PGI, Lda.

PROJECTO DE
VENTILAÇÃO
MECÂNICA

Edifício ESNE

estudo prévio

novembro de 2018



ESNE

CAUDAIS DE VENTILAÇÃO

ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]	ACTIVIDADE	TIPOLOGIA	TAXA POR PESSOA [m³/h.p]	TAXA POR ÁREA [m³/h.m²]	DENSIDADE DE OCUPAÇÃO [m²/p]	OCUPAÇÃO NOMINAL [p]	OCUPAÇÃO PREVISTA [p]	CAUDAL MÍNIMO [m³/h]	AR NOVO		EXTRAÇÃO	
											EQUIPAMENTO AVAC	CAUDAL ADOPTADO [m³/h]	EQUIPAMENTO AVAC	CAUDAL ADOPTADO [m³/h]

PISO 0

E.0.1	Armazém	165.2	Espaços Compl./Armazéns	Armazenamento	24	3	0	0	2	496	UTAN	600	UTAN	400
E.0.1a	Arrumos Armazém	7.8	Espaços Compl./Armazéns	Armazenamento	0	3	0	0	0	24	UTAN	n/a	UTAN	50
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5	Espaços Compl./Armazéns	Sala de Baterias	24	5	0	0	0	208	UTAN	200	VE3	250
E.0.3	Loja	102.0	Pequenas Lojas	Lojas de Comércio	24	3	5	20	2	306	UTAN	400	UTAN	300
E.0.3a	Escritório Loja	10.4	Escritórios	Gabinetes	24	3	10	1	1	32	UTAN	100	n/a	n/a
E.0.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	90	n/a	n/a	VE1	100
E.0.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	180	n/a	n/a	VE1	200

PISO 1

E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	97.8	Est. Ensino Superior	Laboratórios	35	5	10	10	4	490	UTAN	500	VE3	500
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	Est. Ensino Superior	Salas de Refeições	24	3	10	2	7	168	UTAN	200	UTAN	200
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	180	n/a	n/a	VE1	200
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	90	n/a	n/a	VE1	100
E.1.5	Zona Técnica	7.5	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
E.1.6	Gabinete 4	21.8	Escritórios	Gabinetes	24	3	10	2	1	66	UTAN	100	n/a	n/a
E.1.7	Gabinete 3	15.6	Escritórios	Gabinetes	24	3	10	2	1	47	UTAN	100	n/a	n/a
E.1.8	Gabinete 2	25.6	Escritórios	Gabinetes	24	3	10	3	1	77	UTAN	100	n/a	n/a
E.1.8a	Arquivo	7.5	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	UTAN	100
E.1.9	Gabinete 1	33.2	Escritórios	Gabinetes	24	3	10	3	1	100	UTAN	100	n/a	n/a
E.1.10	Sala de Reuniões	32.2	Escritórios	Salas de Reuniões	24	3	10	3	12	288	UTAN	300	UTAN	300
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6	Est. Ensino Superior	Laboratórios	35	5	10	8	3	379	UTAN	400	UTAN	400
E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

PISO 2

E.2.1	Auditório	109.6	Cinemas e Teatro	Salas de Conferências	24	3	2	55	55	1320	UTAN	1400	UTAN	1000
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.2	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	UTAN	100
E.2.2	Copa	14.3	Espaços Compl./Armazéns	Salas de Apoio	24	3	10	1	0	43	UTAN	100	UTAN	100
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	180	n/a	n/a	VE1	200
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	Instalações Sanitárias	Requisitos de extracção	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	90	n/a	n/a	VE1	100
E.2.5	Zona Técnica	36.0	Espaços Compl./Armazéns	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

ZONAS DE CIRCULAÇÃO

Piso 0	Zona de Circulação Central	74.8	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Piso 1	Zona de Circulação 1	64.8	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Piso 2	Zona de Circulação 2	20.8	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ELV	Elevador	3.3	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ESC(N)	Escadas Norte	26.0	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	14.2	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	14.5	Zonas de Circulação	Sem requisitos RECS	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
TOTAL GERAL		1086.5	—	—	—	—	—	110	90	4854	—	4600	—	4600

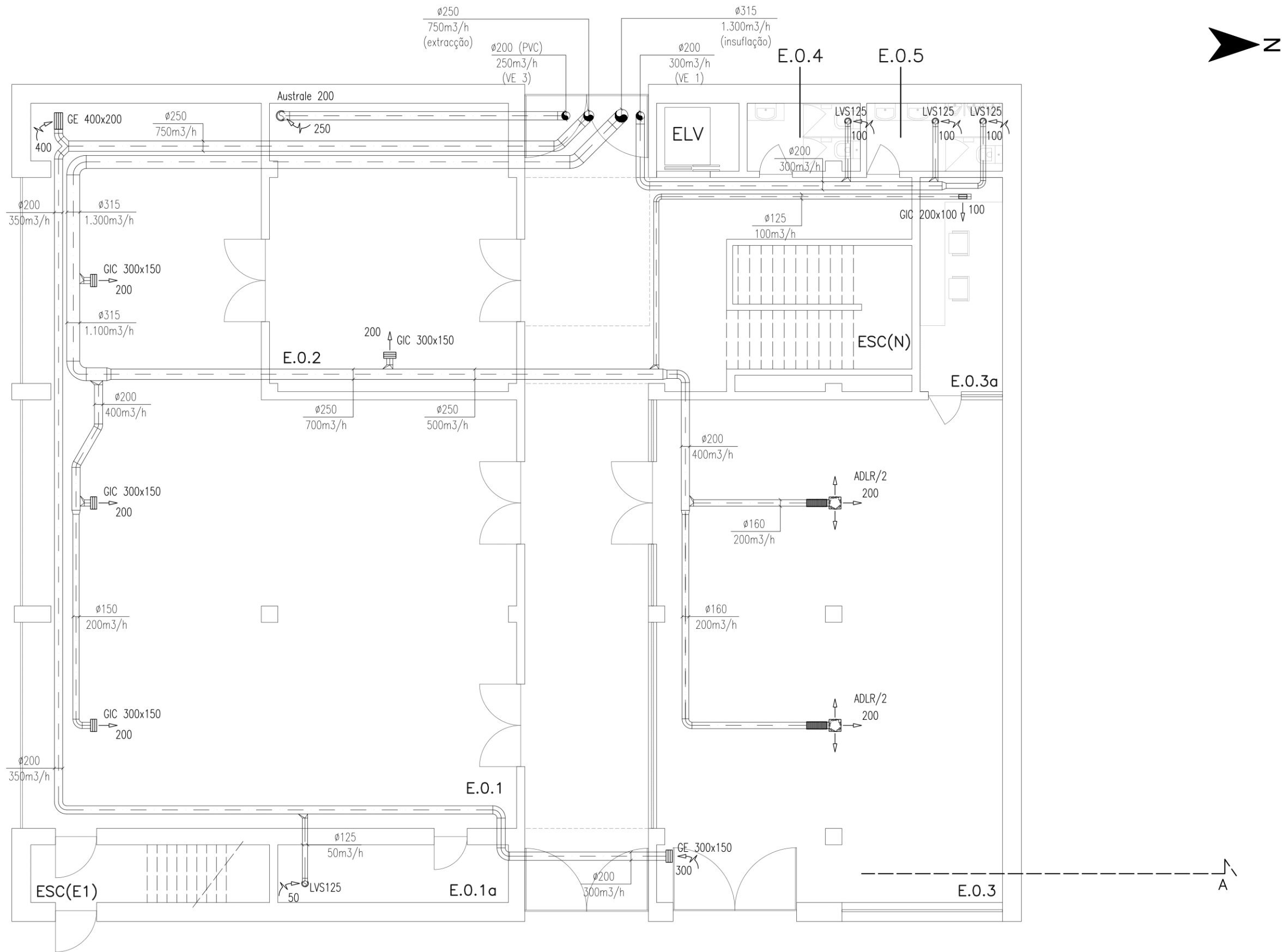
AUTOR:
Carlos Aires, PGI Lda.

TIPO DE PROJECTO:
Ventilação Mecânica
(Estudo Prévio)


Tabela de Cálculo de Caudais de Ventilação

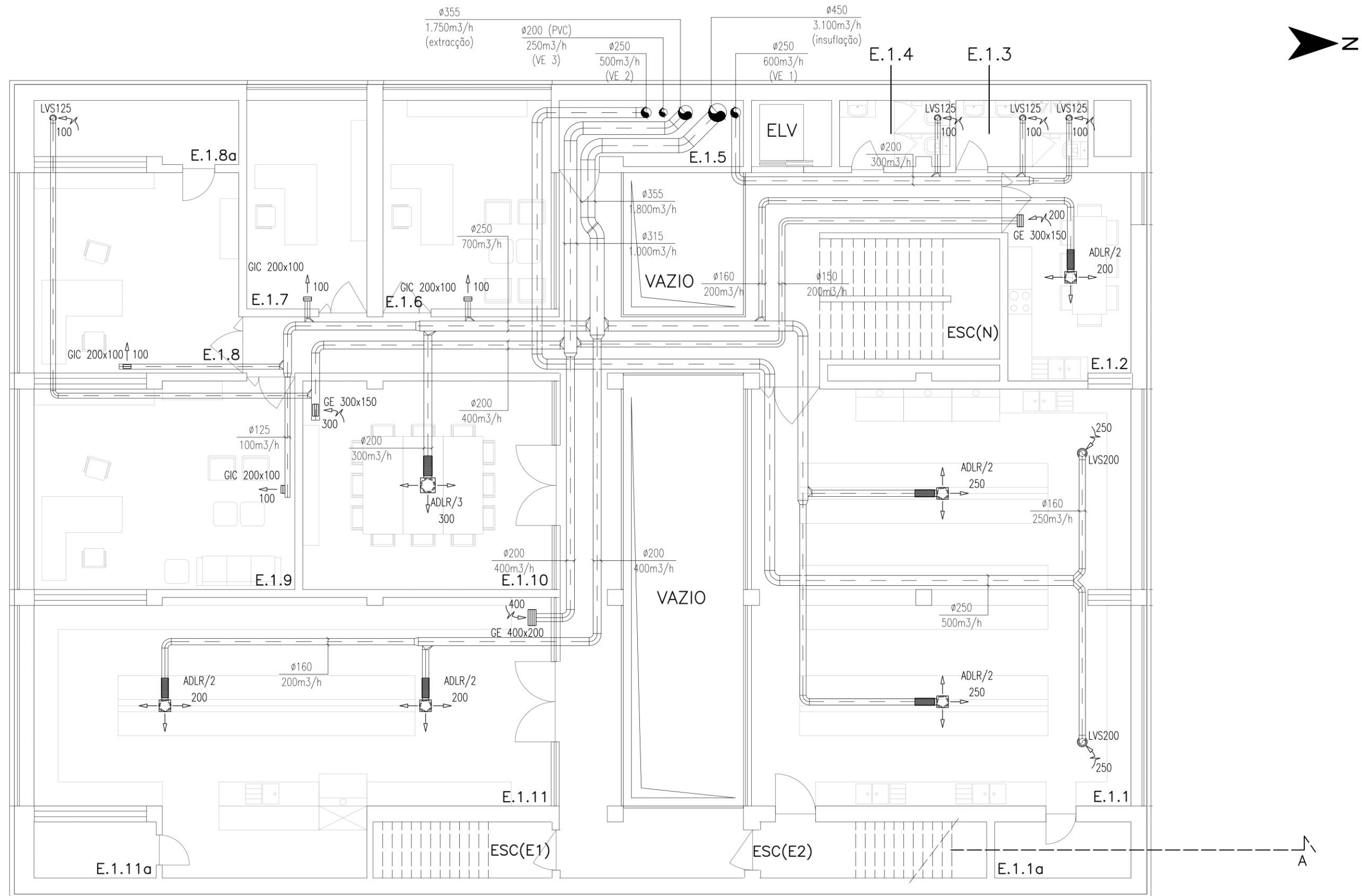
DATA:
novembro 2018

folha
1 / 6




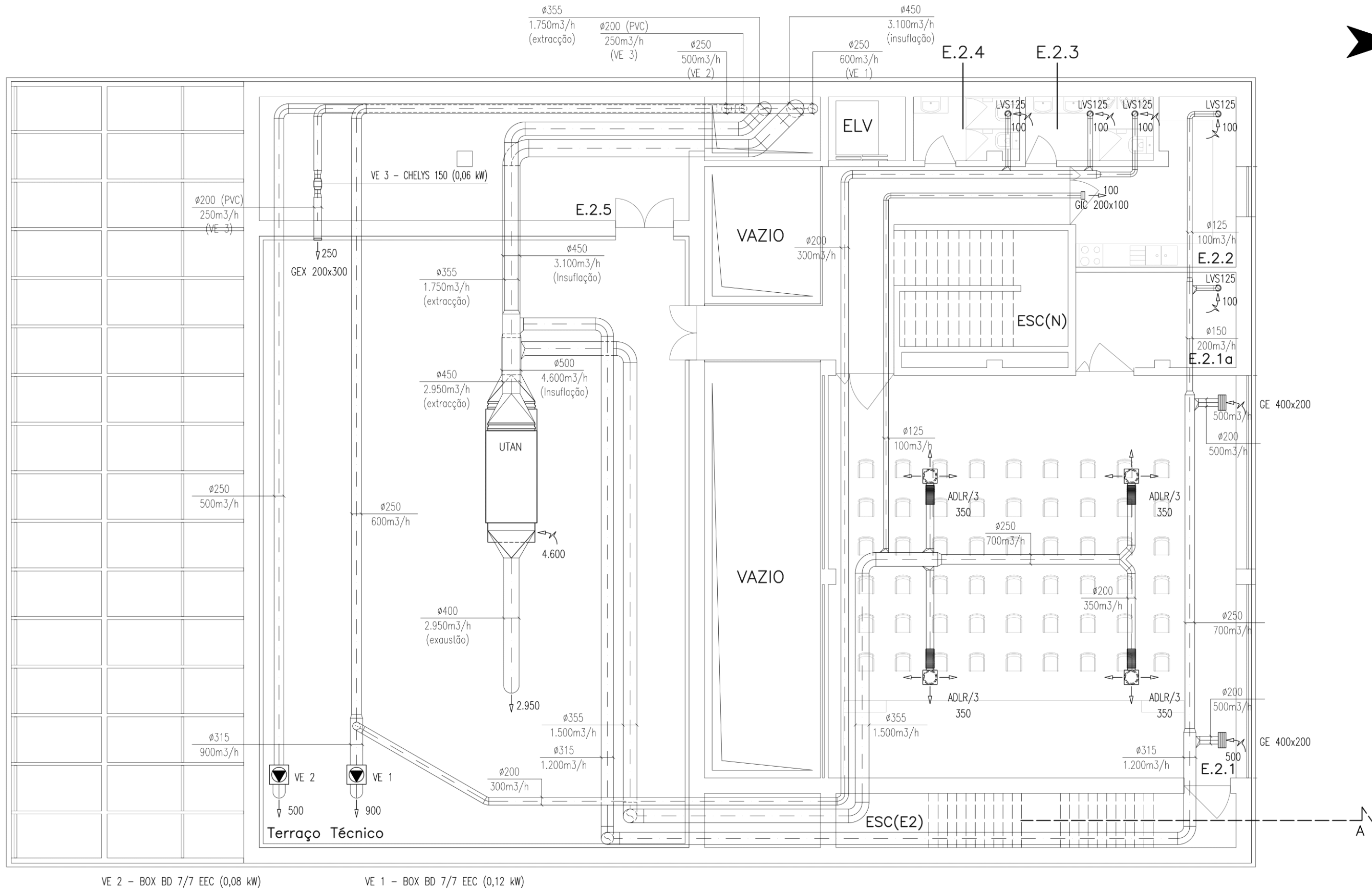
ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.O.1	Armazém	168.1
E.O.1a	Arrumos Armazém	7.8
E.O.2	Sala de Baterias e Inversores	41.5
E.O.3	Loja	103.0
E.O.3a	Escritório Loja	10.4
E.O.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.O.5	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	

 ESNE		edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Carlos Aires, PGI Lda.		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.		LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Ventilação Mecânica (Estudo Prévio)		
PLANTA PISO 0				DATA: novembro 2018	escala 1/100	folha 2 / 6



ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]			
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	98.8	E.1.9	Gabinete 1	33.2
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	4.8	E.1.10	Sala de Reuniões	32.2
E.1.2	Sala de Refeições	15.8	E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	75.6
E.1.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4	E.1.11a	Arrumos Laboratório	4.3
E.1.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4	ELV	Elevador	
E.1.5	Zona Técnica	7.2	ESC(N)	Escadas Norte	
E.1.6	Gabinete 4	21.8	ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	
E.1.7	Gabinete 3	15.6	ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	
E.1.8	Gabinete 2	25.6			
E.1.8a	Arquivo	7.5			


 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Carlos Aires, PGI Lda.		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Ventilação Mecânica (Estudo Prévio)		
PLANTA PISO 1		DATA: novembro 2018	escala 1/100	folha 3 / 6

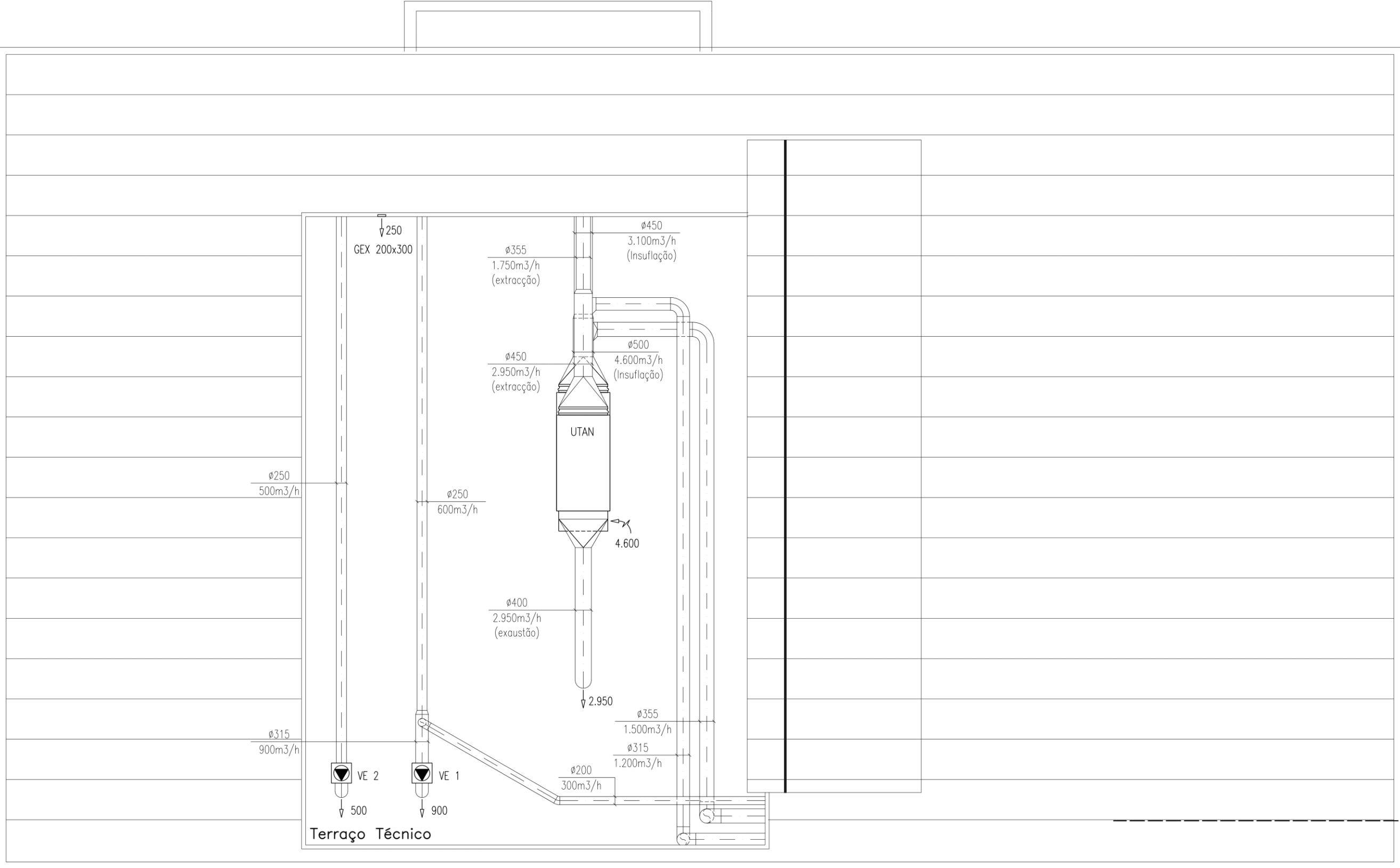


VE 2 – BOX BD 7/7 EEC (0,08 kW)

VE 1 – BOX BD 7/7 EEC (0,12 kW)


ID	DESIGNAÇÃO	ÁREA [m²]
E.2.1	Auditório	109.4
E.2.1a	Arrumos Auditório	10.3
E.2.2	Copa	14.2
E.2.3	Instalações Sanitárias Masculinas	5.4
E.2.4	Instalações Sanitárias Femininas	4.4
E.2.5	Zona Técnica	41.2
ELV	Elevador	
ESC(N)	Escadas Norte	
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	

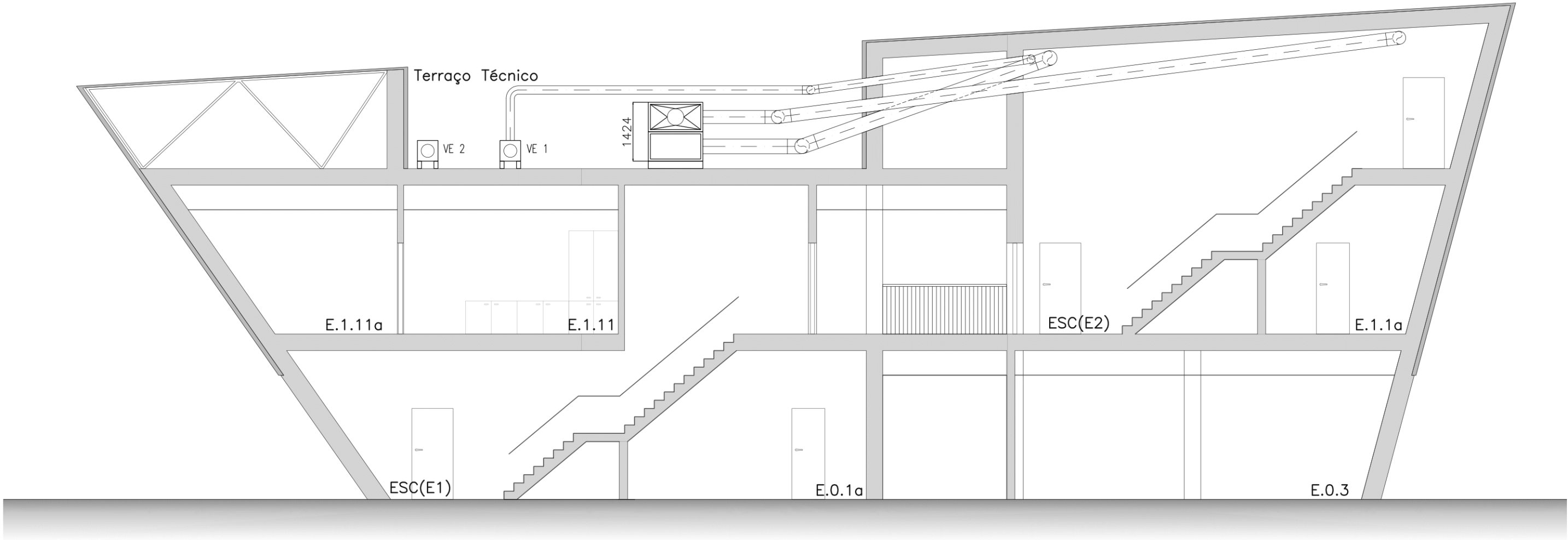
 <div>edifício de serviços com balanço nulo de energia</div>		AUTOR: Carlos Aires, PGI Lda.		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Ventilação Mecânica (Estudo Prévio)		
PLANTA PISO 2		DATA: novembro 2018	escala 1/100	folha 4 / 6




VE 2 – BOX BD 7/7 EEC (0,08 kW)

VE 1 – BOX BD 7/7 EEC (0,12 kW)

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Carlos Aires, PGI Lda.		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Ventilação Mecânica (Estudo Prévio)		
COBERTURA		DATA: novembro 2018	escala 1/100	folha 5 / 6



ID	DESIGNAÇÃO
E.0.1a	Arrumos Armazém
E.0.3	Loja
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1

 ESNE <small>edifício de serviços com balanço nulo de energia</small>		AUTOR: Carlos Aires, PGI Lda.		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Ventilação Mecânica (Estudo Prévio)		
CORTE A		DATA: novembro 2018	escala 1/100	folha 6 / 6

PROJECTO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA

Edifício ESNE

CÁLCULO DE PERDAS
DE PRESSÃO

INSUFLAÇÃO

CARLOS AIRES, PGI Lda.

novembro de 2018



CÁLCULO DE PERDAS DE PRESSÃO
INSUFLAÇÃO

PISO 2: AUDITÓRIO

DIFUSOR 2																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial	Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocid.	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.06	0.07	2 Pa
3	1	T com saída lateral para piso 2	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.50	0.33	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	2.91	2.91	31 Pa
21a	4	Curvas a 90º	CD3-12				r/D = 1	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	0.42	1.68	18 Pa	
22	1	T em frente (Saída para Copa)	SD5-9	0.355 m		0.099 m²	1.00	0.93	1 400 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	3.9 m/s	0.13	0.13	1 Pa
24	1	Saída em cruz para o lado	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.32	0.25	350 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.1 m/s	0.50	0.50	3 Pa
Subtotal Perdas Locais															56 Pa	
Perdas Particulares															ΔPpart	
1	Difusor ADLR 3							350 m³/h								20 Pa
Subtotal Perdas Particulares															20 Pa	
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área			Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin			
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²			4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa			
21	Conduta Geral Piso 2			0.355 m	0.0 m	0.099 m²			1 500 m³/h	4.2 m/s	0.75 Pa/m	30.0 m	23 Pa			
23	Conduta Auditório			0.355 m	0.0 m	0.099 m²			1 400 m³/h	3.9 m/s	0.90 Pa/m	1.5 m	1 Pa			
28	Conduta para Difusor 2			0.200 m	0.0 m	0.031 m²			350 m³/h	3.1 m/s	0.70 Pa/m	3.0 m	2 Pa			
Subtotal Perdas Lineares															36.0 m	28 Pa
TOTAL															103 Pa	
Reserva															10%	
TOTAL COM RESERVA															115 Pa	

DIFUSOR 4																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial		Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final		Área 0	Velocid.	CPL	ΣCPL	ΔPloc
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.06	0.07	2 Pa
3	1	T com saída lateral para piso 2	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.50	0.33	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	2.91	2.91	31 Pa
21a	4	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	0.42	1.68	18 Pa
22	1	T em frente (Saída para Copa)	SD5-9	0.355 m		0.099 m²	1.00	0.93	1 400 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	3.9 m/s	0.13	0.13	1 Pa
24	1	Saída em cruz para a frente	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.50	0.50	700 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	4.0 m/s	0.13	0.13	1 Pa
26	1	Saída a 45º	SD5-1	0.250 m		0.049 m²	0.64	0.50	350 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.1 m/s	0.56	0.56	3 Pa
Subtotal Perdas Locais																57 Pa
Perdas Particulares																
1		Difusor ADLR 3							350 m³/h							ΔPpart 20 Pa
Subtotal Perdas Particulares																20 Pa
Perdas Lineares																
Ref			Tamanho da Conduta			Área			Caudal	Velocidade		ΔP	Comprimento		ΔPlin	
2		Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0	0.500 m	0.0 m		0.196 m²			4 600 m³/h	6.5 m/s		1.10 Pa/m	1.5 m		2 Pa	
21		Conduta Geral Piso 2	0.355 m	0.0 m		0.099 m²			1 500 m³/h	4.2 m/s		0.75 Pa/m	30.0 m		23 Pa	
23		Conduta Auditório	0.355 m	0.0 m		0.099 m²			1 400 m³/h	3.9 m/s		0.90 Pa/m	1.5 m		1 Pa	
25		Conduta para Difusores 3 e 4	0.250 m	0.0 m		0.049 m²			700 m³/h	4.0 m/s		0.90 Pa/m	1.5 m		1 Pa	
27		Conduta para Difusor 4	0.200 m	0.0 m		0.031 m²			350 m³/h	3.1 m/s		0.70 Pa/m	3.0 m		2 Pa	
Subtotal Perdas Lineares																37.5 m 29 Pa
TOTAL																106 Pa
Reserva																10%
TOTAL COM RESERVA																120 Pa

PISO 2: COPA

GRELHA DE INSUFLAÇÃO																	
Perdas Locais																	
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial		Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocid.	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa	
3	1	T com saída lateral para piso 2	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.50	0.33	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	2.91	2.91	31 Pa	
21a	4	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 500 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	4.2 m/s	0.42	1.68	18 Pa	
22	1	T com saída lateral para a Copa	SD5-9	0.355 m		0.099 m²	0.12	0.07	100 m³/h	0.125 m	0.0 m	0.012 m²	2.3 m/s	1.20	1.20	4 Pa	
29a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	100 m³/h	0.125 m	0.0 m	0.012 m²	2.3 m/s	0.42	0.42	1 Pa	
29b	1	Entrada no Pleno insuflação							100 m³/h	0.125 m	0.0 m	0.012 m²	2.3 m/s	1.00	1.00	3 Pa	
Subtotal Perdas Locais																60 Pa	
Perdas Particulares																ΔPpart	
1	Grelha de Insuflação lâminas curvas 200 x 100 mm								100 m³/h								14 Pa
Subtotal Perdas Particulares																14 Pa	
Perdas Lineares																	
Ref	Tamanho da Conduta					Área			Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin				
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0					0.500 m	0.0 m	0.196 m²		4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa			
21	Conduta Geral Piso 2					0.355 m	0.0 m	0.099 m²		1 500 m³/h	4.2 m/s	0.75 Pa/m	30.0 m	23 Pa			
23	Conduta Auditório					0.355 m	0.0 m	0.099 m²		1 400 m³/h	3.9 m/s	0.90 Pa/m	1.5 m	1 Pa			
29	Conduta para Copa					0.125 m	0.0 m	0.012 m²		100 m³/h	2.3 m/s	0.75 Pa/m	14.5 m	11 Pa			
Subtotal Perdas Lineares																47.5 m	36 Pa
TOTAL																110 Pa	
Reserva																10%	
TOTAL COM RESERVA																125 Pa	

PISO 1: LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

DIFUSOR 1																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial		Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc	
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída lateral para piso 1	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.62	0.58	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	1.20	1.20	19 Pa
11a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.42	0.42	7 Pa
11b	3	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.21	0.63	10 Pa
12	1	Saída em cruz para a frente	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.32	0.22	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.13	0.13	1 Pa
13a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.42	0.42	3 Pa
14	1	T com saída lateral para difusor 1	SD5-9	0.200 m		0.031 m²	0.64	0.50	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	1.87	1.87	9 Pa
Subtotal Perdas Locais															71 Pa	
Perdas Particulares																
1	Difusor ADLR 2								200 m³/h	ΔPpart						
															18 Pa	
Subtotal Perdas Particulares															18 Pa	
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área			Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin			
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²			4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa			
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²			3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa			
11	Conduta Geral Piso 1			0.355 m	0.0 m	0.099 m²			1 800 m³/h	5.1 m/s	1.00 Pa/m	10.0 m	10 Pa			
13	Conduta para Lab. Máquinas Elétricas			0.200 m	0.0 m	0.031 m²			400 m³/h	3.5 m/s	0.90 Pa/m	12.0 m	11 Pa			
15	Conduta para Difusor 1			0.160 m	0.0 m	0.020 m²			200 m³/h	2.8 m/s	0.75 Pa/m	2.0 m	2 Pa			
Subtotal Perdas Lineares															43 Pa	
TOTAL															132 Pa	
Reserva															10%	
TOTAL COM RESERVA															145 Pa	

DIFUSOR 2																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial	Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída lateral para piso 1	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.62	0.58	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	1.20	1.20	19 Pa
11a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.42	0.42	7 Pa
11b	3	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.21	0.63	10 Pa
12	1	Saída em cruz para a frente	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.32	0.22	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.13	0.13	1 Pa
13a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.42	0.42	3 Pa
14	1	T com saída em frente para difusor 2	SD5-9	0.200 m		0.031 m²	0.64	0.50	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
16a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	0.42	0.42	2 Pa
Subtotal Perdas Locais																65 Pa
Perdas Particulares																ΔPpart
1	Difusor ADLR 2							200 m³/h								18 Pa
Subtotal Perdas Particulares																18 Pa
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área			Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin			
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²			4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa			
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²			3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa			
11	Conduta Geral Piso 1			0.355 m	0.0 m	0.099 m²			1 800 m³/h	5.1 m/s	1.00 Pa/m	10.0 m	10 Pa			
13	Conduta para Lab. Máquinas Elétricas			0.200 m	0.0 m	0.031 m²			400 m³/h	3.5 m/s	0.90 Pa/m	12.0 m	11 Pa			
16	Conduta para Difusor 2			0.160 m	0.0 m	0.020 m²			200 m³/h	2.8 m/s	0.75 Pa/m	8.0 m	6 Pa			
Subtotal Perdas Lineares																47 Pa
TOTAL																130 Pa
Reserva																10%
TOTAL COM RESERVA																145 Pa

PISO 1: LABORATÓRIO DE QUÍMICA E MICROBIOLOGIA

DIFUSOR 1																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial	Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída lateral para piso 1	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.62	0.58	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	1.20	1.20	19 Pa
11a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.42	0.42	7 Pa
11b	3	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.21	0.63	10 Pa
12	1	Saída em cruz lateral	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.50	0.39	700 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	4.0 m/s	0.50	0.50	5 Pa
17a	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	1.00	0.71	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
18a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.42	0.42	2 Pa
19	1	T com saída lateral para difusor 1	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	0.41	0.50	250 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	3.5 m/s	0.88	0.88	6 Pa
Subtotal Perdas Locais																72 Pa
Perdas Particulares																ΔPpart
1	Difusor ADLR 2							250 m³/h								25 Pa
Subtotal Perdas Particulares																25 Pa
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área				Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin		
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²				4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa		
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²				3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa		
11	Conduta Geral Piso 1			0.355 m	0.0 m	0.099 m²				1 800 m³/h	5.1 m/s	1.00 Pa/m	10.0 m	10 Pa		
17	Conduta Piso 1			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				700 m³/h	4.0 m/s	0.95 Pa/m	4.0 m	4 Pa		
18	Conduta Piso 1 para Lab. Química e Microbiologia			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				500 m³/h	2.8 m/s	0.50 Pa/m	6.0 m	3 Pa		
19a	Conduta para Difusor 1			0.160 m	0.0 m	0.020 m²				250 m³/h	3.5 m/s	1.00 Pa/m	3.5 m	4 Pa		
Subtotal Perdas Lineares																41 Pa
TOTAL																138 Pa
Reserva																10%
TOTAL COM RESERVA																155 Pa

DIFUSOR 2																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial	Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída lateral para piso 1	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.62	0.58	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	1.20	1.20	19 Pa
11a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.42	0.42	7 Pa
11b	3	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 800 m³/h	0.355 m	0.0 m	0.099 m²	5.1 m/s	0.21	0.63	10 Pa
12	1	Saída em cruz lateral	SD5-24	0.355 m		0.099 m²	0.50	0.39	700 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	4.0 m/s	0.50	0.50	5 Pa
17a	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	1.00	0.71	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
18a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.42	0.42	2 Pa
19	1	T com saída em frente para difusor 2	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	0.41	0.50	250 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	3.5 m/s	0.14	0.14	1 Pa
19c	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	250 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	3.5 m/s	0.42	0.42	3 Pa
Subtotal Perdas Locais															70 Pa	
Perdas Particulares															ΔPpart	
1	Difusor ADLR 2							250 m³/h							25 Pa	
Subtotal Perdas Particulares															25 Pa	
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área				Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin		
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²				4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa		
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²				3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa		
11	Conduta Geral Piso 1			0.355 m	0.0 m	0.099 m²				1 800 m³/h	5.1 m/s	1.00 Pa/m	10.0 m	10 Pa		
17	Conduta Piso 1			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				700 m³/h	4.0 m/s	0.95 Pa/m	4.0 m	4 Pa		
18	Conduta Piso 1 para Lab. Química e Microbiologia			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				500 m³/h	2.8 m/s	0.50 Pa/m	6.0 m	3 Pa		
19b	Conduta para Difusor 2			0.160 m	0.0 m	0.020 m²				250 m³/h	3.5 m/s	1.00 Pa/m	8.5 m	9 Pa		
Subtotal Perdas Lineares															46 Pa	
TOTAL															140 Pa	
Reserva															10%	
TOTAL COM RESERVA															155 Pa	

PISO 0: LOJA

DIFUSOR 1																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial		Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc	
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída em frente para piso 0	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.49	0.42	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.14	0.14	2 Pa
0.1a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.42	0.42	6 Pa
0.1b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.21	0.21	3 Pa
0.2	1	T com saída em frente	SD5-9	0.315 m		0.078 m²	1.00	0.85	1 100 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	3.9 m/s	0.13	0.13	1 Pa
0.3a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 100 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	3.9 m/s	0.42	0.42	4 Pa
0.4	1	T com saída em frente	SD5-9	0.315 m		0.078 m²	0.63	0.64	700 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	4.0 m/s	0.13	0.13	1 Pa
0.6	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	1.00	0.71	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
0.8	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	0.64	0.80	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.14	0.14	1 Pa
0.9a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.42	0.42	3 Pa
0.10	1	T com saída lateral	SD5-9	0.200 m		0.031 m²	0.64	0.50	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	1.87	1.87	9 Pa
Subtotal Perdas Locais															53 Pa	
Perdas Particulares																
1	Difusor ADLR 2								200 m³/h	ΔPpart 18 Pa						
Subtotal Perdas Particulares															18 Pa	
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área				Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin		
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²				4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa		
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²				3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa		
0.1	Conduta Geral Piso 0			0.315 m	0.0 m	0.078 m²				1 300 m³/h	4.6 m/s	0.95 Pa/m	21.0 m	20 Pa		
0.3	Conduta Piso 0			0.315 m	0.0 m	0.078 m²				1 100 m³/h	3.9 m/s	0.70 Pa/m	3.0 m	2 Pa		
0.5	Conduta Piso 0			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				700 m³/h	4.0 m/s	0.90 Pa/m	7.0 m	6 Pa		
0.7	Conduta Piso 0			0.250 m	0.0 m	0.049 m²				500 m³/h	2.8 m/s	0.50 Pa/m	6.5 m	3 Pa		
0.9	Conduta Piso 0 Loja			0.200 m	0.0 m	0.031 m²				400 m³/h	3.5 m/s	1.00 Pa/m	4.0 m	4 Pa		
0.12	Conduta Piso 0 Loja Difusor 1			0.160 m	0.0 m	0.020 m²				200 m³/h	2.8 m/s	0.80 Pa/m	3.5 m	3 Pa		
Subtotal Perdas Lineares															59 Pa	
TOTAL															130 Pa	
Reserva															10%	
TOTAL COM RESERVA															145 Pa	

DIFUSOR 2																
Perdas Locais																
Ref	Qtd.	Tipo	Ref	Conduta inicial	Área 1	A0/A1	Q0/Q1	Caudal	Conduta final	Área 0	Velocidade	CPL	ΣCPL	ΔPloc		
1	1	Saída da UTAN (redução de rect p/ circular)	SD4-2	1.218 m	0.608 m	0.741 m²	0.27	θ=60º	4 600 m³/h	0.500 m	0.0 m	0.196 m²	6.5 m/s	0.07	0.07	2 Pa
3	1	T com saída em frente para piso 0 e 1	SD5-9	0.500 m		0.196 m²	0.81	0.67	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.13	0.13	2 Pa
4a	2	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.42	0.84	15 Pa
4b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	3 100 m³/h	0.450 m	0.0 m	0.159 m²	5.4 m/s	0.21	0.21	4 Pa
5	1	T com saída em frente para piso 0	SD5-9	0.450 m		0.159 m²	0.49	0.42	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.14	0.14	2 Pa
0.1a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.42	0.42	6 Pa
0.1b	1	Curva a 45º	CD3-12					r/D = 1	1 300 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	4.6 m/s	0.21	0.21	3 Pa
0.2	1	T com saída em frente	SD5-9	0.315 m		0.078 m²	1.00	0.85	1 100 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	3.9 m/s	0.13	0.13	1 Pa
0.3a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	1 100 m³/h	0.315 m	0.0 m	0.078 m²	3.9 m/s	0.42	0.42	4 Pa
0.4	1	T com saída em frente	SD5-9	0.315 m		0.078 m²	0.63	0.64	700 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	4.0 m/s	0.13	0.13	1 Pa
0.6	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	1.00	0.71	500 m³/h	0.250 m	0.0 m	0.049 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
0.8	1	T com saída em frente	SD5-9	0.250 m		0.049 m²	0.64	0.80	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.14	0.14	1 Pa
0.9a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	400 m³/h	0.200 m	0.0 m	0.031 m²	3.5 m/s	0.42	0.42	3 Pa
0.10	1	T com saída em frente	SD5-9	0.200 m		0.031 m²	0.64	0.50	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	0.15	0.15	1 Pa
0.11a	1	Curvas a 90º	CD3-12					r/D = 1	200 m³/h	0.160 m	0.0 m	0.020 m²	2.8 m/s	0.42	0.42	2 Pa
Subtotal Perdas Locais															47 Pa	
Perdas Particulares																
1	Difusor ADLR 2								200 m³/h	ΔPpart						18 Pa
Subtotal Perdas Particulares															18 Pa	
Perdas Lineares																
Ref				Tamanho da Conduta		Área			Caudal	Velocidade	ΔP	Comprimento	ΔPlin			
2	Conduta Geral Pisos 2, 1 e 0			0.500 m	0.0 m	0.196 m²			4 600 m³/h	6.5 m/s	1.10 Pa/m	1.5 m	2 Pa			
4	Conduta Geral Pisos 1 e 0			0.450 m	0.0 m	0.159 m²			3 100 m³/h	5.4 m/s	0.90 Pa/m	21.0 m	19 Pa			
0.1	Conduta Geral Piso 0			0.315 m	0.0 m	0.078 m²			1 300 m³/h	4.6 m/s	0.95 Pa/m	21.0 m	20 Pa			
0.3	Conduta Piso 0			0.315 m	0.0 m	0.078 m²			1 100 m³/h	3.9 m/s	0.70 Pa/m	3.0 m	2 Pa			
0.5	Conduta Piso 0			0.250 m	0.0 m	0.049 m²			700 m³/h	4.0 m/s	0.90 Pa/m	7.0 m	6 Pa			
0.7	Conduta Piso 0			0.250 m	0.0 m	0.049 m²			500 m³/h	2.8 m/s	0.50 Pa/m	6.5 m	3 Pa			
0.9	Conduta Piso 0 Loja			0.200 m	0.0 m	0.031 m²			400 m³/h	3.5 m/s	1.00 Pa/m	4.0 m	4 Pa			
0.11	Conduta Piso 0 Loja Difusor 2			0.160 m	0.0 m	0.020 m²			200 m³/h	2.8 m/s	0.80 Pa/m	9.0 m	7 Pa			
Subtotal Perdas Lineares															63 Pa	
TOTAL															128 Pa	
Reserva															10%	
TOTAL COM RESERVA															145 Pa	

RESUMO DAS PERDAS DE CARGA NAS CONDUTAS DE INSUFLAÇÃO

	PERDAS LOCAIS	PERDAS PARTICULARES	PERDAS LINEARES	TOTAL	Reserva	TOTAL COM RESERVA
PISO 2						
UTAN-PISO2-Auditório-Difusor 2	56 Pa	20 Pa	28 Pa	103 Pa	10%	115 Pa
UTAN-PISO2-Auditório-Difusor 4	57 Pa	20 Pa	29 Pa	106 Pa	10%	120 Pa
UTAN-PISO2-Copa-Grelha Insuflação	60 Pa	14 Pa	36 Pa	110 Pa	10%	125 Pa
PISO 1						
UTAN-PISO1-Lab. Máquinas Elétricas-Difusor 1	71 Pa	18 Pa	43 Pa	132 Pa	10%	145 Pa
UTAN-PISO1-Lab. Máquinas Elétricas-Difusor 2	65 Pa	18 Pa	47 Pa	130 Pa	10%	145 Pa
UTAN-PISO1-Lab. Química e Microbiologia-Difusor 1	72 Pa	25 Pa	41 Pa	138 Pa	10%	155 Pa
UTAN-PISO1-Lab. Química e Microbiologia-Difusor 2	70 Pa	25 Pa	46 Pa	140 Pa	10%	155 Pa
PISO 0						
UTAN-PISO0-Loja-Difusor 1	53 Pa	18 Pa	59 Pa	130 Pa	10%	145 Pa
UTAN-PISO0-Loja-Difusor 2	47 Pa	18 Pa	63 Pa	128 Pa	10%	145 Pa

PROJECTO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA

Edifício ESNE

UNIDADE DE TRATAMENTO
DE AR NOVO (UTAN)

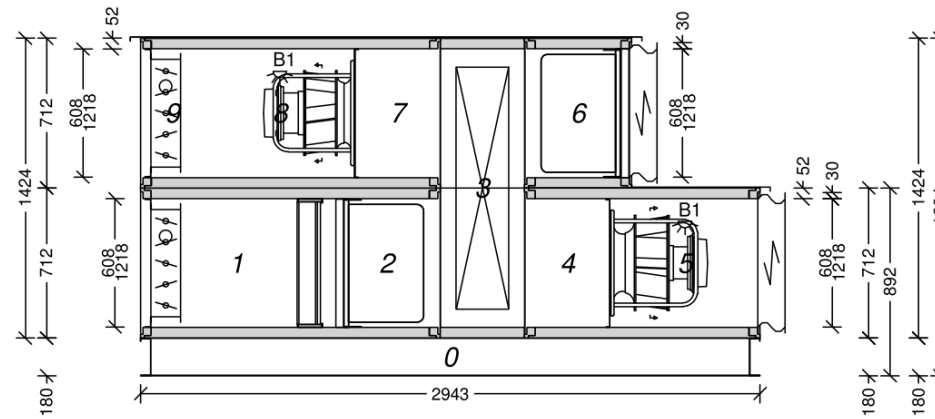
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARLOS AIRES, PGI Lda.

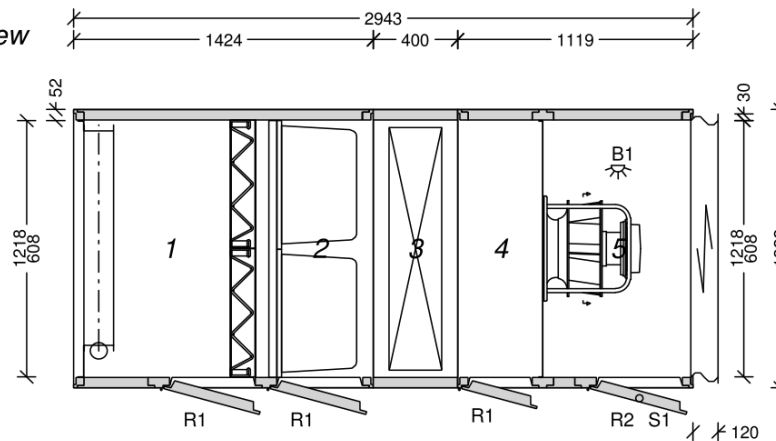
novembro de 2018



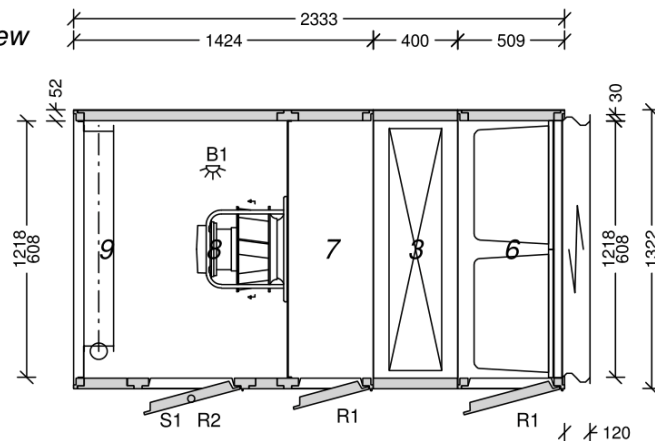
Side view



Planview



Planview



S1 = Inspection port
R2 = Inspection door pressure side
R1 = Inspection door
B1 = Lighting 230 volt



WOLF

France-Air Portugal

Tel: +351 219 568 900
Fax: +351 219 568 901
www.france-air.com/pt/

Supply air: 4600 m³/h ext. 150 Pa

Exhaust air: 2950 m³/h ext. 150 Pa

MFE	9 Empty section	ca. 200kg
	8 Fan section	
	7 Empty section	
	6 Bag filter F7 (energy optimized)	ca. 81kg
MFE	5 Fan section	ca. 180kg
	4 Empty section	
	3 Rotary heat exchanger	ca. 180kg
MFE	2 Bag filter F7 (energy optimized)	ca. 200kg
	1 Mixing-/filter section	
0	Baseframe	
	Total weight	ca. 841kg

MFE = Multi functional element

Client:

Project name: Estudo

Position:

Responsible:	09/10/2018	VGO	2.17.566.2
	Date	Name	

Project no.: /

AHUW TE 85

Unidade de tratamento de ar



Proposta

Cliente

Projecto
Responsável interno
Número de projecto
Responsável externo
Posição
Data
Tamanho da unidade na insuflação
Tamanho da unidade na extracção
Esp. Desempenho conforme
Ef. Energética Eurovent(2016)
Tipo de recuperador
Caudal de insuflação
Caudal de extracção
Tipo unidade
Características dos painéis
Chassis

Projeto de Ventilação Mecânica Edifício ESNE (Estudo Prévio)
Vitor Gomes

Carlos Aires, PGI Lda.

26/10/2018
AHUW TE 85
AHUW TE 85
DIN EN 13053 02/2012

A+
RWT
4600 m³/h 1,28 m³/s
2950 m³/h 0,82 m³/s
Insuflação e extracção
Exterior 50 mm
180 mm, C-Profile Mounted ,
Isolamento antivibrático não
fornecido
Insuflação:1,7 m/s Classe: V2
Extracção:1,1 m/s Classe: V1

Velocidade do ar
Velocidade do ar

Insuflação:

(1) Modulo de Mistura com filtro

EN ISO 16890	ISO Coarse 60%
Perda de carga inicial	22 Pa
Perda de carga nominal	86 Pa
Perda de carga final	150 Pa
Área do filtro	1,02 m²
Registo classe 2 conforme DIN EN 1751	2 Pa

Filtro plano G4
Filtereinschub für Mattenfilter, Einsschub Mattenfilter
Registo classe 2 conforme DIN EN 1751, Interno Tipo Q, 510 x 1019 / 7 Nm Binário / Veio do registo para ligação ao servo-motor: 15 x 15 mm
Porta de visita, Dispositivo de segurança das portas

(2) Filtro de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)

EN ISO 16890	ISO ePM1 50%
Perda de carga inicial	76 Pa
Perda de carga nominal	138 Pa
Perda de carga final	200 Pa
Energieklasse (RS-4/C/001-2015)	C
Área do filtro	10,78 m²

Filtros de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)
Einschubrahmen mit Spannhebel, Sistema de fixação por barra de compressão
Porta de visita, Dispositivo de segurança das portas

(3) Recuperador rotativo RWT (Duplo deck)

Temperatura do ar novo	4 °C
Humidade relativa do ar novo	90 %
Temperatura de retorno	20 °C
Humidade relativa do ar de retorno	50 %
Temperatura de insuflação	13,3 °C
Humidade relativa do ar insuflação	56,9 %
Eficiência Seca (EN 308)	82 %
Eficiência sensível	58 %
Eficiência latente	31 %
Potência (sensível)	14,4 kW
Potência (latente)	3,2 kW
Potência (total)	17,6 kW
Temperatura de extracção	6,3 °C
Humidade relativa do ar extraído	95 %
Perda de carga na insuflação	137 Pa
Perda de carga na extracção	96 Pa
Diâmetro da Roda	1150 mm
Consumo adicional devido à PdC	0,6 kW
Consumo Eléctrico Motor/Regulação	0,1 kW
Coeficiente de Performance	34,30
Eficiência Energética	79 %
Classificação Recuperação EN	H1
13053/2012	
max. Leckagerate	5 %

Funcionamento em reversibilidade:

Temperatura do ar novo	35 °C
Humidade relativa do ar novo	30 %
Temperatura de retorno	25 °C
Humidade relativa do ar de retorno	50 %
Temperatura de insuflação	29,2 °C
Humidade relativa do ar insuflação	41,1 %
Eficiência sensível	58 %
Eficiência latente	16 %
Potência (sensível)	-9 kW
Potência (latente)	-0,4 kW
Potência (total)	-9,4 kW
Temperatura de extracção	34 °C
Humidade relativa do ar extraído	30,3 %
Perda de carga na insuflação	165 Pa
Perda de carga na extracção	99 Pa

Tipo de recuperador rotativo, Recuperador Tipo A com transmissão de humidade (superfície total) L1

Acessórios recuperador rotativo, Control, Regulador de base "KR", Fornecido em separado

Acessórios recuperador rotativo, Control, Controlo do funcionamento do rotor "R"

Designation L1 E16-1424/1322-1150

(4) Secção livre/acesso 407 mm

Porta de visita, Dispositivo de segurança das portas

(5) Ventilador, Ventilador com motor EC

Caudal	4600 m³/h
Pressão externa	150 Pa
PdC Secção Ventilação	3 Pa
Pressão interna	363 Pa
Pressão dinâmica	32 Pa
Pressão total	548 Pa
Tipo de ventilador	VME400-2,50/400EC-2450
Ventilador - Rotação	1821 1/min

Máxima rotação do ventilador	2450 1/min
Eficiência Global	67,8 %
Consumo Motor	1,65 A
Max. Consumo Motor	3,8 A
Max. Potência Motor	2,50 kW
Motor - Alimentação	3*400 V
Tensão de comando	6,03 V
Factor K turbina	188
Consumo de energia eléctrica	1,03 kW
Consumo de Energia Filtros Limpos	0,83 kW
SFP (Specific fan power)	0,65 kW/(m³/s)
	0,180 W/(m³/h)
Type	2138501
SFP Classe (EN 13779)	SFP0
P-Classe (EN 13053)	P1

Frequência em bandas de oitava (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Soma
Lw(A) na aspiração	38	56	60	65	69	67	69	58	74
Lw(A) na descarga	40	57	60	70	77	72	73	63	80

Tomas para medição do caudal pelo exterior

Caixa de Bornes (Conformidade CE) Externa para ligações electrónicas ao motor e Interruptor de Corte montado e cablado, AR 4/5,5

Ligação flexível, Q

Porta de visita, Porta de acesso na descarga, Dispositivo de segurança das portas

Óculo de inspecção

Iluminação, 230 Volt IP 65, Montado e cablado

Extracção::

(3) Recuperador rotativo RWT (Duplo deck)

Para dados técnicos consultar a secção de insuflação

(6) Filtro de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)

EN ISO 16890	ISO ePM1 50%
Perda de carga inicial	49 Pa
Perda de carga nominal	124 Pa
Perda de carga final	200 Pa
Energieklasse (RS-4/C/001-2015)	C
Área do filtro	10,78 m²

Filtros de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)

Einschubrahmen mit Spannhebel, Sistema de fixação por barra de compressão

Ligação flexível, Q

Porta de visita, Dispositivo de segurança das portas

(7) Secção livre/acesso 407 mm

Porta de visita, Dispositivo de segurança das portas

(8) Ventilador, Ventilador com motor EC

Caudal	2950 m³/h
Pressão externa	150 Pa
PdC Secção Ventilação	2 Pa
Pressão interna	221 Pa
Pressão dinâmica	24 Pa
Pressão total	397 Pa
Tipo de ventilador	VME355-1,10/400EC-2400
Ventilador - Rotação	1810 1/min
Máxima rotação do ventilador	2400 1/min
Eficiência Global	64,8 %

Consumo Motor	0,82 A
Max. Consumo Motor	1,7 A
Max. Potência Motor	1,10 kW
Motor - Alimentação	3*400 V
Tensão de comando	6,94 V
Factor K turbina	148
Consumo de energia eléctrica	0,50 kW
Consumo de Energia Filtros Limpos	0,42 kW
SFP (Specific fan power)	0,52 kW/(m³/s)
	0,144 W/(m³/h)
Type	2138498
SFP Classe (EN 13779)	SFP0
P-Classe (EN 13053)	P1

Frequência em bandas de oitava (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Soma
Lw(A) na aspiração	33	50	55	61	61	64	63	53	69
Lw(A) na descarga	35	50	54	64	69	70	68	57	74

Tomas para medição do caudal pelo exterior

Caixa de Bornes (Conformidade CE) Externa para ligações electrónicas ao motor e Interruptor de Corte montado e cablado, AR 4/5,5

Porta de visita, Porta de acesso na descarga, Dispositivo de segurança das portas

Óculo de inspecção

Iluminação, 230 Volt IP 65, Montado e cablado

(9) Secção livre/acesso 300 mm

Registo classe 2 conforme DIN EN 1751

1 Pa

Registo classe 2 conforme DIN EN 1751, Interno Tipo Q, 510 x 1019 / 7 Nm Binário / Veio do registo para ligação ao servo-motor: 15 x 15 mm

Dados Acústicos

Insuflação										
Paíneis	50 mm		Tipo ventilador				Ventilador EC			
Ventilador - Rotação	1821 1/min						VME400-2,50/400EC-2450			
							rs47,4		xc1438	
			Pressão total				548 Pa			
Nível Sonoro na Unidade										
Bandas de Frequencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Total	
Secções em Aspiração										
Potência Acustica Emitida Ventilador	63,9	72,2	69,2	67,6	69,2	65,5	67,8	58,6	77,1 dB	
Recuperador rotativo, Modulo de Mistura com filtro, Filtro de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)										
Potência Acústica, considerando a atenuação dos componentes internos A-bewertet als Einwertangabe									65,5 dB(A)	
Banda de oitavas não ponderada	59,9	67,2	65,2	61,6	61,2	56,5	54,8	41,6	71,2 dB	
Secções em Sobrepressão										
Potência Acustica Emitida Ventilador	65,8	72,8	69,2	72,6	76,7	71,2	71,7	63,7	81,0 dB	
Potência Acústica, considerando a atenuação dos componentes internos A-bewertet als Einwertangabe									79,8 dB(A)	
Banda de oitavas não ponderada	65,8	72,8	69,2	72,6	76,7	71,2	71,7	63,7	81,0 dB	
Nível Sonoro no Exterior da Unidade										
Radiado pela envolvente										
Potência Acústica									51,0 dB(A)	
Pressão Sonora in 1 m Distância									37,4 dB(A)	

Extracção										
Paíneis	50 mm		Tipo ventilador				Ventilador EC			
Ventilador - Rotação	1810 1/min						VME355-1,10/400EC-2400			
							rs41,0		xc1411	
									397 Pa	
Nível Sonoro na Unidade										
Bandas de Frequencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Total	
Secções em Aspiração										
Potência Acustica Emitida Ventilador	59,4	66,1	64,1	63,6	60,8	63,3	62,4	53,5	71,8 dB	
Recuperador rotativo, Filtro de Bolsas F7 (Alta Performance Energética)										
Potência Acústica, considerando a atenuação dos componentes internos A-bewertet als Einwertangabe									63,2 dB(A)	
Banda de oitavas não ponderada	56,4	63,1	61,1	59,6	55,8	57,3	54,4	43,5	67,7 dB	
Secções em Sobrepressão										
Potência Acustica Emitida Ventilador	60,9	65,8	63,0	66,8	69,1	68,8	67,1	58,1	75,2 dB	
Potência Acústica, considerando a atenuação dos componentes internos A-bewertet als Einwertangabe									74,4 dB(A)	
Banda de oitavas não ponderada	60,9	65,8	63,0	66,8	69,1	68,8	67,1	58,1	75,2 dB	
Nível Sonoro no Exterior da Unidade										
Radiado pela envolvente										
Potência Acústica									44,5 dB(A)	
Pressão Sonora in 1 m Distância									31,0 dB(A)	

Os valores de som indicados não levam em conta as transmissões de som dentro da unidade através de painéis de partição (por exemplo, unidades combinadas ou redirecionamentos), e transmissões na operação do ar circulante ou através do bypass de qualquer componente, bem como mudanças na seção transversal. Além disso, as emissões sonoras do prédio através da unidade de climatização não são levadas em consideração. O cálculo do som não inclui as emissões sonoras de compressores de refrigerante, condensadores axiais, humidificadores, conversores de frequência e queimadores, bem como, em casos individuais e dependendo da ventilação utilizada e da velocidade de ventilação relacionada, a adição de nível possível na faixa de frequência do ruído de passagem da lâmina. As tolerâncias permitidas de construção e medição de acordo com a norma DIN EN 13053 devem ser levadas em consideração.

Dimensões da unidade

Comprimento	2943 mm
Largura	1322 mm
Altura Incluindo Chassi 180 mm, C-Profile	1604 mm
No.	/
Peso total	847 kg

Regulamento ERP Nr.:1253/2014(Unidades de Tratamento de Ar) NRVU

Este equipamento está em conformidade com os requisitos do Regulamento (EU) N.º 1253/2014; Unidades de Ventilação Nivel 1(2016) e Nivel 2 (2018); (Requisitos 2016 e 2018)

Tipo de Unidade	Unidade de Ventilação (BVU) Bidireccional
Sistema de recuperação de calor	Recuperador rotativo
DeltaP Filtro Insuflação / Extração	76 / 28 Pa
DeltaP WRG (Seca) Insuflação / Extração	137 / 96 Pa
DeltaPs,int	337 Pa
DeltaPs,add	46 Pa
Eficiência Térmica de Recuperação / Limite Mínimo	82 / 73 %
Eficiência estática dos ventiladores, segundo UE:327/2011	(5) 70% (8) 69,2%
Effizienzgrad N	(5) 76,5 / (8) 79,3
SFP Interno / Limite Máximo	541 / 1213 W/(m³/s)
Taxa de fuga externa máxima a 400 Pa	0,78 %
Taxa máxima de fugas a -400 Pa	0,49 %

Notas:

Esta consideração de compatibilidade ErP depende do nosso conhecimento actual do Regulamento (UE) no. 1253/2014. Alterações devido à coordenação posterior entre as organizações e entidades de regulamentação, poderão criar divergências nesta avaliação.

Por esta razão, esta avaliação só é válida à data da criação deste relatório de configuração. Em caso de dúvida ou necessidade de reconfirmação contacte-nos.

A substituição regular dos filtros é essencial para a capacidade e eficiência energética da unidade.

Para cumprir os requisitos da regulamentação da UE 1253/2014, é obrigatório modernizar a unidade com uma exibição de pressão diferencial de filtro ou um dispositivo de aviso sonoro no sistema de controle.

Resumo de acessórios

- 2 x Dispositivo de segurança das portas
- 5 x Dispositivo de segurança das portas
- 2 x Iluminação, 230 Volt IP 65, Montado e cablado
- 2 x Óculo de inspecção
- 2 x Tomas para medição do caudal pelo exterior

Anexo B · Avaliação Aerodinâmica

B.1. Caracterização do Vento Local

Os Anos Meteorológicos de Referência produzidos pelo LNEG, I.P. para cada município contemplam informação horária relativa à temperatura ambiente, à humidade relativa, à radiação solar, à velocidade e à direção do vento [55]. Num estudo prévio de caracterização do vento local, com recurso ao ficheiro climático para Serpa disponibilizado através de [13], verificou-se que a distribuição da direção do vento apresentava uma forma irregular, e que este surgia unicamente de duas direções. Ou seja, em 81% do tempo o vento apresenta direção noroeste enquanto nos restantes 19% apresenta direção norte (Figura B.2). Adicionalmente, a série horária da direção apresenta os mesmos valores, de forma consecutiva, em intervalos superiores a 24 horas. Existindo, por exemplo, um intervalo de 456 horas consecutivas em que a direção toma o valor de 276° . Isto acontece porque os valores horários de direção do vento foram produzidos por um gerador de séries sintéticas, tendo como base os valores mensais da moda desta.

A fragilidade da correspondência à realidade dos dados climáticos produzidos pelo LNEG, I.P. fica a descoberto com o verificado acima e com a parca explicação da metodologia que está por de trás da produção dos Anos Meteorológicos de Referência, que recorreram a «(...) numerosas aproximações e operações de interpolação e extrapolação espacial [, que foram conjuntamente] (...) aplicadas [com] correções ad hoc e muito arbitrárias a algumas bandas costeiras bem como correções em altitude em bandas, com fórmulas de cálculo generalizadas a partir de apenas alguns casos de estudo» [55].

Devido à fragilidade da base de dados relativa ao setor do vento presente no ficheiro climático, e às implicações inerentes da impossibilidade de avaliar com alguma razoabilidade a eficácia do sistema de ventilação natural de que o edifício ESNE está dotado, foi necessário recorrer à caracterização do vento local com recurso a dados de uma estação anemométrica.

A estação anemométrica mais próxima está a 23,3km da localidade onde o edifício ESNE será construído. Trata-se da Estação Meteorológica da Herdade do Vale Formoso (Figura B.1), que integra a rede nacional de estações meteorológicas operada pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. Os dados disponibilizados, relativos à velocidade e direção do vento, por este instituto referem-se ao período de 1998 a 2017.



Figura B.1 – Localização (A) da Estação Meteorológica da Herdade do Vale Formoso (B). Imagem de satélite adaptada do Google Earth Pro.

B.1.1. Determinação da Direção do Vento Horária

A produção de um vetor horário de direção do vento consistiu em avaliar qual o ano que apresentava um perfil estatístico de distribuição mais próximo do verificado para o período da série temporal de dados. O perfil estatístico de distribuição de ocorrências (em termos percentuais) da direção do vento recorreu à definição de oito setores de direção, que estão espaçados por um intervalo centrado de 45°. As ocorrências para cada setor foram contabilizadas atendendo à seguinte premissa:

$$\theta_k - 22,5 \leq \theta_x < \theta_k + 22,5, \quad k \in [1, 8] \quad (\text{B.1})$$

Onde θ_x é a direção do vento registada e θ_k o setor da direção do vento a ser avaliado. Sendo que foram retiradas as ocorrências em que existiram erros na aquisição de dados. A seleção do ano de referência para a direção do vento foi realizada considerando a soma do quadrado da diferença, para cada setor de vento, entre o perfil de distribuição da série temporal 1998-2017 e do respetivo ano em análise, atendendo à seguinte expressão:

$$e_{total}(i) = \sum_{k=1}^N (f_{1998-2017}(k) - f_i(k))^2 \quad (\text{B.2})$$

Onde k é o setor do vento, i o ano em análise e f a frequência de ocorrência do setor do vento k . Paralelamente, foi avaliada para cada série a duração total das falhas de medição face à duração de um ano civil ($f_{oe}(i)$, [%]) e a extensão máxima destas ($\Delta t_{oe\ max}$, [h]). Na tabela que se segue apresentam-se os resultados referentes à avaliação efetuada para cada ano:

Tabela B.1 - Caracterização do vetor de Direção Horária do Vento para cada ano compreendido no período 1998-2017.

Ano	Nº medições	$f_{oe}(i)$ [%]	$e_{total}(i)$ [%]	$\Delta t_{oe\ max}$ [h]
1998	8 468	3,33	0,191	130
1999	8 655	1,20	1,377	72
2000	8 701	0,67	0,287	12
2001	8 483	3,16	0,306	15
2002	8 385	4,28	0,350	41
2003	8 613	1,68	0,429	70
2004	7 239	17,36	0,208	646
2005	7 836	10,55	0,362	142
2006	5 211	40,51	0,037	593
2007	6 485	25,97	0,707	712
2008	7 679	12,34	0,261	91
2009	7 964	9,09	0,221	54
2010	6 860	21,69	0,377	833
2011	8 147	7,00	0,324	579
2012	8 697	0,72	0,268	2
2013	8 539	2,52	0,218	33
2014	8 413	3,96	0,223	69
2015	8 533	2,59	0,120	24
2016	8 606	1,76	0,080	4
2017	8 697	0,72	0,132	6

A seleção consistiu em garantir que $f_{oe}(i)$, $e_{total}(i)$ e $\Delta t_{oe\ max}$ fossem o menor possível simultaneamente. Como tal, a análise recaiu sobre os anos de 2015, 2016 e 2017. O ano selecionado foi 2016 utilizando como critério de “desempate” o $e_{total}(i)$. Contudo, devido a este apresentar “buracos” (ausência de valores por erros de medição), o vetor de direção horária deste ano foi submetido a uma interpolação linear (expressão (B.3)), de forma a ser um vetor contínuo de valores que possa ser lido pelo *EnergyPlus*®.

$$\theta_{ref}(t) = \begin{cases} \theta_{2016}(t) & , \text{ se } \theta_{2016}(t) \geq 0 \\ \frac{\theta_{2016}(t-1) + \theta_{2016}(t+1)}{2} & , \text{ se } \theta_{2016}(t) = -990 \wedge \theta_{2016}(t-1) \geq 0 \wedge \theta_{2016}(t+1) \geq 0 \\ \theta_{2016}(t-1) & , \text{ se } \theta_{2016}(t+1) = -990 \\ \theta_{2016}(t+1) & , \text{ se } \theta_{2016}(t-1) = -990 \end{cases} \quad (\text{B.3})$$

A correção foi aplicada ao vetor até este não apresentar descontinuidades. A utilização desta correção deveu-se a que a maioria das falhas têm duração de 1h a 2h, tendo-se registado apenas 7 falhas com uma duração de 3h e 3 falhas com uma duração máxima de 4h.

Apresenta-se da Figura B.2 à Figura B.4 o perfil estatístico de distribuição de ocorrência da direção do vento numa perspetiva anual e mensal para o ano de referência e para o período de 1998 a 2017.

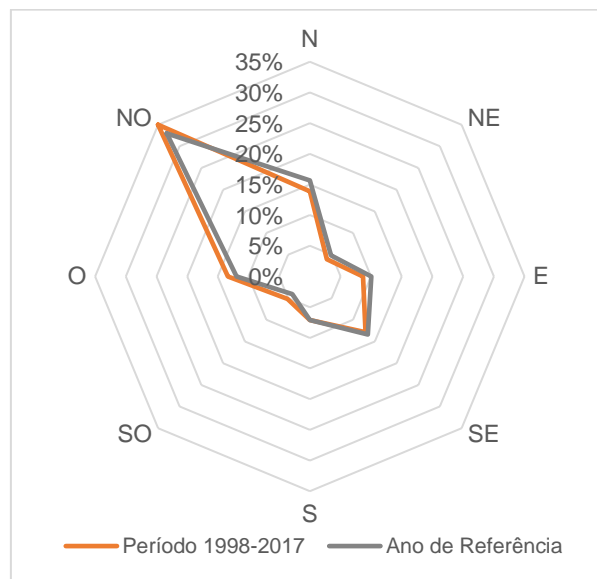


Figura B.2 - Distribuição de ocorrência da direção do vento local para o período de 1998-2017 e o ano de referência.

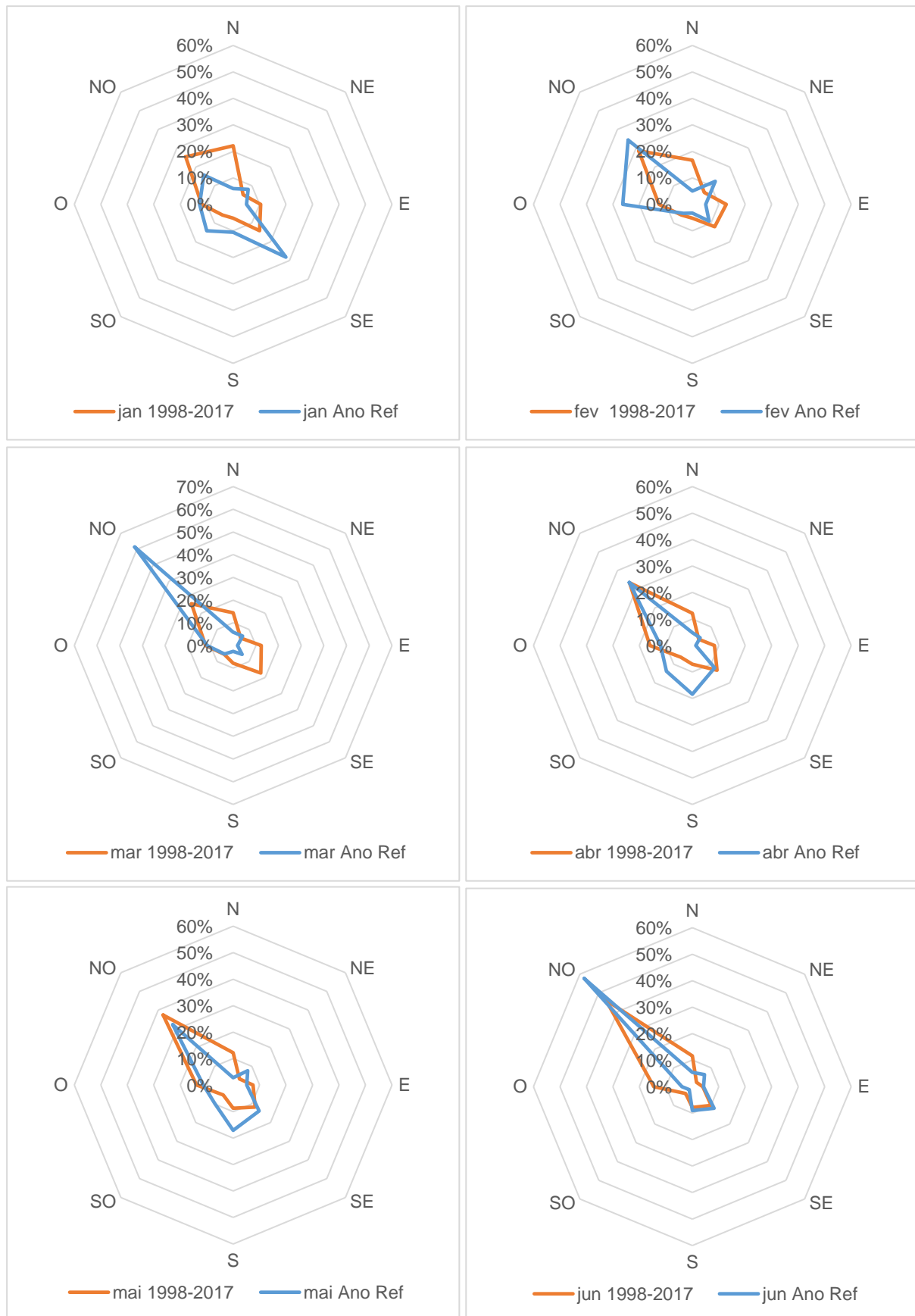


Figura B.3 – Distribuição de ocorrência da direção do vento local de janeiro a junho no período de 1998-2017 e no ano de referência.

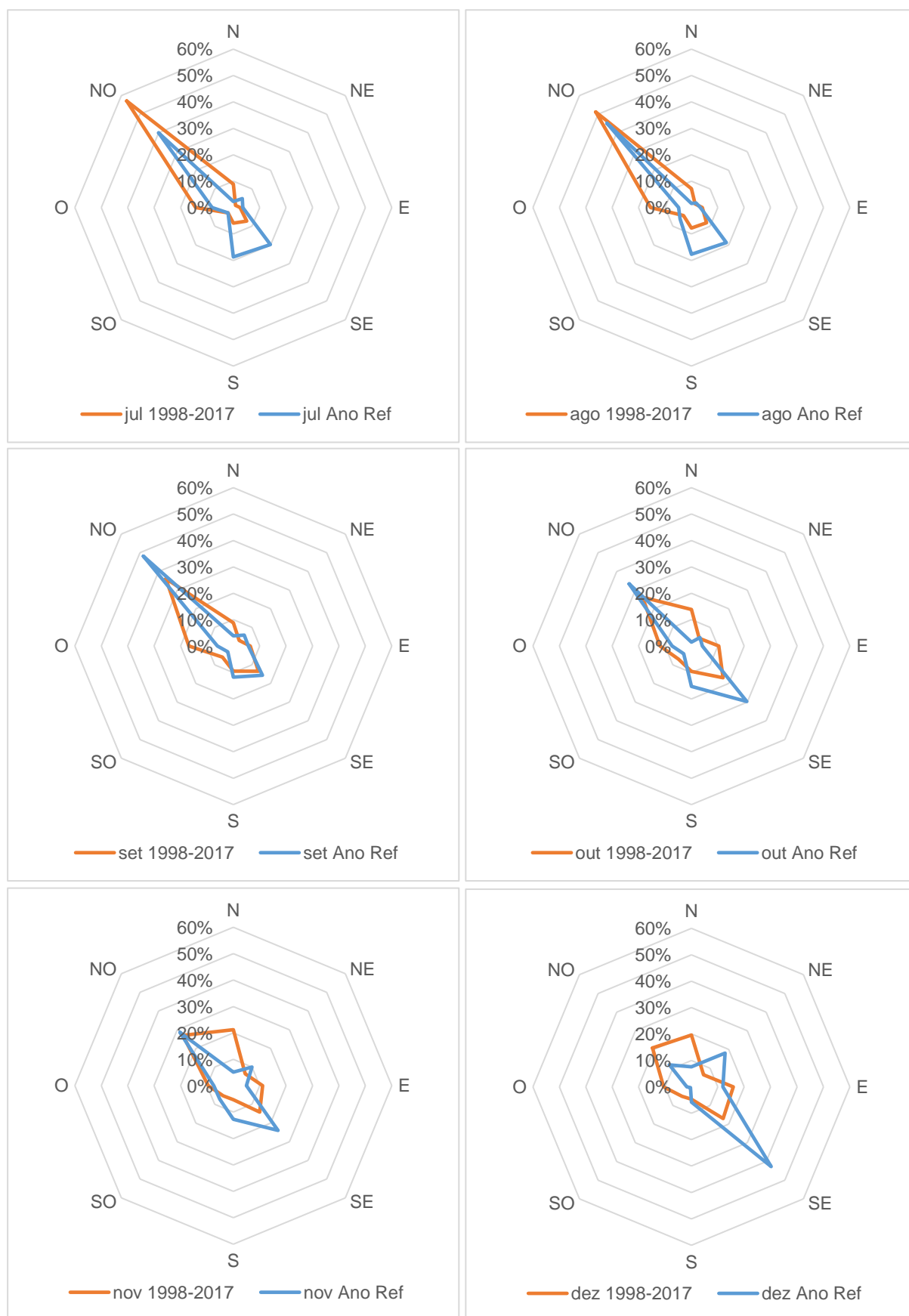


Figura B.4 – Distribuição de ocorrência da direção do vento local de julho a dezembro no período de 1998-2017 e no ano de referência.

B.1.2. Determinação do Perfil Horário Médio da Velocidade do Vento

A definição da velocidade média horária do vento local seguiu a expressão (B.4), onde $u_{1998-2017}(t)$ trata-se da velocidade média para o período de 1998 a 2017 num dado instante t , $u_i(t)$ trata-se da velocidade no ano i para um dado instante t , e n é o número séries temporais.

$$u_{1998-2017}(t) = \frac{\sum_{i=1998}^n u_i(t)}{n} \quad (\text{B.4})$$

Dado à estação anemométrica distar 23,3km da localidade onde o edifício será construído, o perfil de velocidades obtido foi corrigido atendendo à mudança de rugosidade do solo e ao coeficiente de orografia. O perfil vertical de velocidades na camada limite atmosférica depende, entre outros fatores, das tensões de atrito impostas pela textura do solo e pelos elementos presentes neste. Estas tensões podem ser representadas por um comprimento característico de rugosidade da superfície designado por z_0 , que consiste numa escala de comprimento que traduz o arrastamento [56] [57]. Na Figura B.5 apresenta-se esquematicamente a transição de rugosidades entre a estação anemométrica e o local de construção, estando a cor-de-rosa assinalada a rugosidade de referência ($z_{0,0}$) com o valor de 0,45m [57], que representa parte do Parque Natural do Vale do Guadiana e a Serra de Serpa, onde os terrenos são na generalidade acidentados. Já a verde está assinalada a rugosidade associada à zona de planície ($z_{0,1}$) com o valor de 0,15m [57]. Na mesma figura, está representada a tracejado branco a Serra da Adiça.

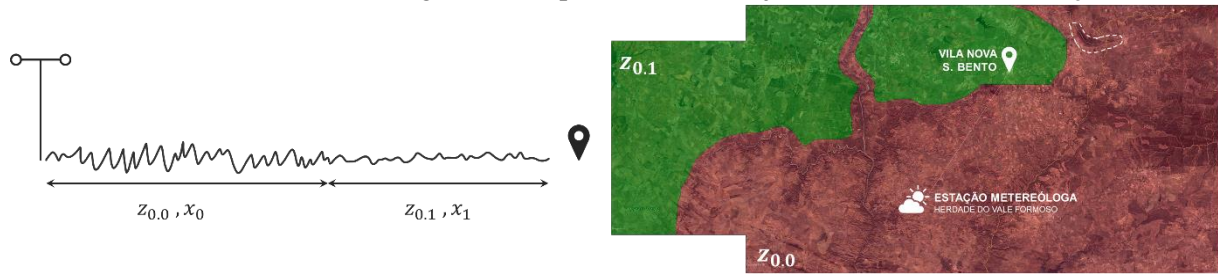


Figura B.5 – Representação esquemática da transição de rugosidades (esquerda) e identificação das rugosidades locais características (direita). Imagem de satélite adaptada do Google Earth Pro.

Atendendo ao facto de que a correção da velocidade pela mudança de rugosidade pode ocorrer em dois sentidos, ou seja, no sentido de $x_0 \rightarrow x_1$ ou no sentido inverso de $x_1 \rightarrow x_0$, foi definido um conjunto de expressões para cada sentido. As expressões (B.5) e (B.6) são utilizadas quando se verifica o sentido $x_0 \rightarrow x_1$, ou seja, para as direções do vento compreendidas no intervalo $[0^\circ, 90^\circ] \cup [270^\circ, 360^\circ]$. Já as expressões (B.7) e (B.8) no sentido $x_1 \rightarrow x_0$ e para as direções do vento que pertencem ao intervalo de $]90^\circ, 270^\circ[$.

$$\delta_{x_1} = z_{0,1} \left[0,75 - 0,03 \ln \left(\frac{z_{0,1}}{z_{0,0}} \right) \right] \cdot \left(\frac{x_1}{z_{0,1}} \right)^{0,8} \quad (\text{B.5})$$

$$u_{x_1}(z_{ref}) = u_{ref}(z_{ref}) \cdot \left[1 + \frac{\ln(z_{0,1}/z_{0,0})}{\ln(\delta_{x_1}/z_{0,1})} \right] \cdot \frac{\ln(z_{ref}/z_{0,1})}{\ln(z_{ref}/z_{0,0})} \quad (\text{B.6})$$

$$\delta_{x_0} = z_{0,0} \left[0,75 - 0,03 \ln \left(\frac{z_{0,0}}{z_{0,1}} \right) \right] \cdot \left(\frac{x_0}{z_{0,0}} \right)^{0,8} \quad (\text{B.7})$$

$$u_{x_1}(z_{ref}) = u_{ref}(z_{ref}) \cdot \left(\left[1 + \frac{\ln(z_{0,0}/z_{0,1})}{\ln(\delta_{x_0}/z_{0,0})} \right] \cdot \frac{\ln(z_{ref}/z_{0,0})}{\ln(z_{ref}/z_{0,1})} \right)^{-1} \quad (\text{B.8})$$

As extensões das rugosidades (x_0 e x_1) foram determinadas para sete dos oito setores de vento espaçados por um intervalo centrado de 45° , considerando que a extensão da rugosidade é válida para as direções de vento que pertencem a cada setor. Na Figura B.6 encontra-se esquematicamente representada a determinação da extensão de x_0 e x_1 para cada setor, assumindo que a velocidade do vento não varia

paralelamente à direção do vento dentro da mesma rugosidade. Na Tabela B.2 apresentam-se os valores de x_0 e x_1 e o seu intervalo de validade.

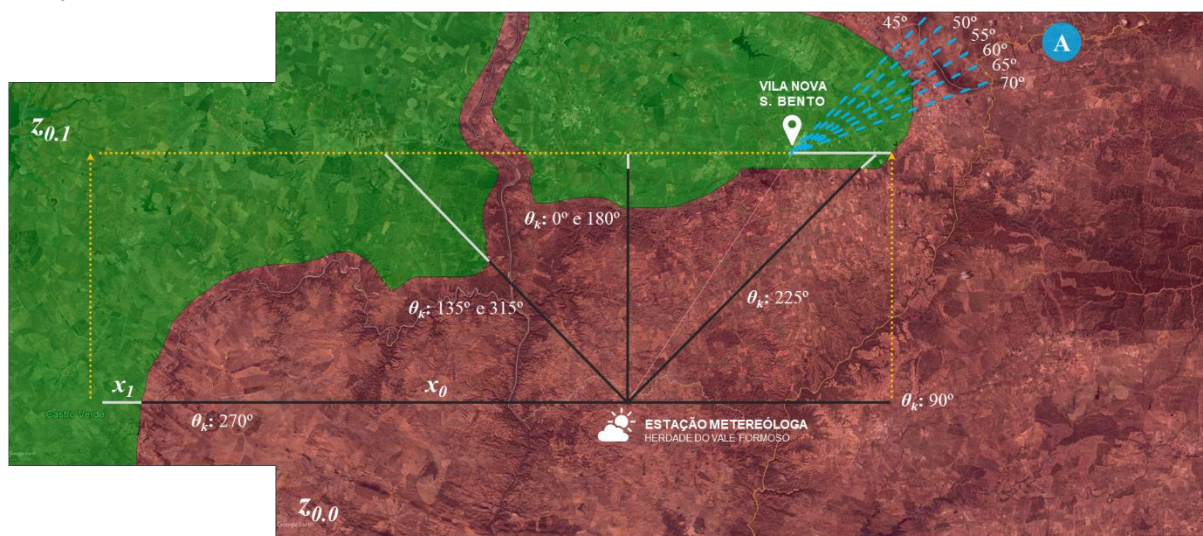


Figura B.6 – Esquema para a determinação da extensão das rugosidades e dos coeficientes de orografia.

Tabela B.2 – Extensão de x_0 e x_1 para cada classe de vento, e o seu respetivo intervalo de validade para a direção do vento.

θ_k	x_0 [m]	x_1 [m]	Intervalo de validade
0°	16 894	1 100	$337,5 \leq \theta_x \leq 360 \wedge 0 \leq \theta_x < 22,5$
90°	19 079	7 116	$72,5 \leq \theta_x < 112,5$
135°	14 324	25 041	$112,5 \leq \theta_x < 157,5$
180°	16 894	1 100	$157,5 \leq \theta_x < 202,5$
225°	19 628	1 556	$202,5 \leq \theta_x < 247,5$
270°	35 185	2 852	$247,5 \leq \theta_x < 292,5$
315°	14 324	25 041	$292,5 \leq \theta_x < 337,5$

Para direções de vento compreendidas entre 22,5° e 72,5° a correção da velocidade do vento não pode recorrer à correção pela mudança de rugosidades devido à influência orográfica da Serra da Adiça. Na Figura B.6 encontram-se assinalados a linha tracejada a azul os seis setores de vento para os quais foram definidos os coeficientes de orografia, que ao invés de terem um espaçamento de 45° têm de 5° de forma a acompanhar as variações de altitude da colina, considerando que o coeficiente de orografia não varia dentro de cada setor definido.

A velocidade do vento corrigida é dada por (B.9), onde u_{x_1} é a velocidade corrigida, u_{ref} é a velocidade de referência e c_o o coeficiente de orografia. Para a velocidade de referência, considerou-se que o valor da velocidade registado na estação anemométrica seria igual ao valor da velocidade no ponto A, assinalado na Figura B.6, para as direções de vento compreendidas entre 22,5° e 72,5°. A consideração é válida dado à estação anemométrica não estar sob a influência orográfica da Serra da Adiça, assim como, a zona montante a esta apresentar a mesma rugosidade do local onde se encontra a estação anemométrica.

$$u_{x_1} = u_{ref} \cdot c_o \quad (B.9)$$

O coeficiente de orografia foi determinado atendendo à Norma NP EN1991-1-4 2010, onde a Figura B.7 apresenta a nomenclatura e as expressões (B.10) a (B.13) da metodologia utilizada [22].

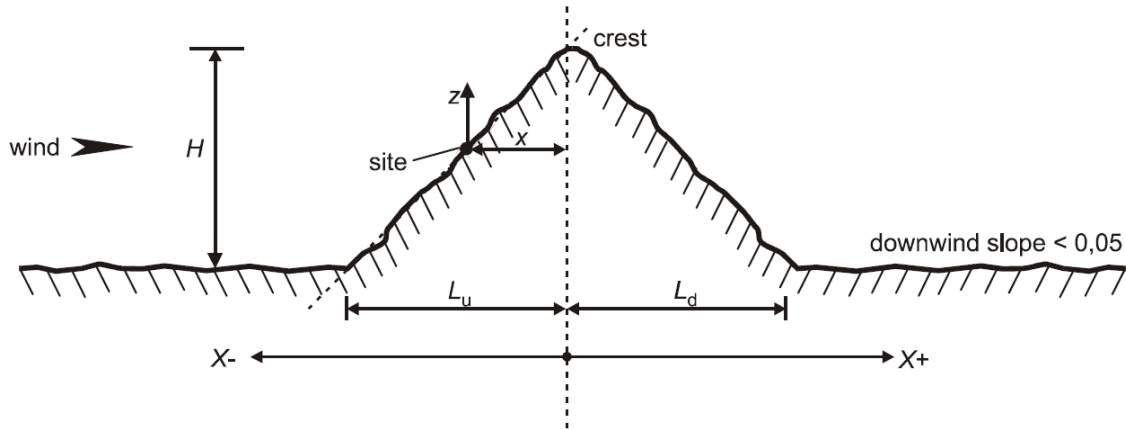


Figura B.7 – Nomenclatura para a determinação do coeficiente de orografia em colinas (adaptado de [22]).

$$\begin{cases} c_o = 1, \text{ se } \phi < 0,05 \\ c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi, \text{ se } 0,05 < \phi < 0,3 \\ c_o = 1 + 0,6 \cdot s, \text{ se } \phi > 0,3 \end{cases} \quad (\text{B.10})$$

$$\phi = H/L_u \quad (\text{B.11})$$

$$\begin{cases} L_e = L_u, \text{ se } \phi < 0,3 \\ L_e = L_u/0,3, \text{ se } > 0,3 \end{cases} \quad (\text{B.12})$$

$$s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{X}{L_d}\right)} \quad (\text{B.13})$$

onde

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right) + 1,0124$$

e

$$B = -0,3056 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right)^2 + 1,0212 \cdot \left(\frac{Z}{L_e}\right) - 1,7637$$

Na tabela abaixo apresentam-se os valores do coeficiente de orografia considerados, sendo que a classe de vento de 45° é uma classe que excepcionalmente apresenta um intervalo de validade de 25° e não de 5°, dado a que dentro desse intervalo verificou-se que o c_o tinha variação inferior a 0,5%.

Tabela B.3 – Definição dos parâmetros de cálculo e dos valores do coeficiente de orografia considerados para cada classe de vento atendendo ao seu intervalo de validade.

θ_k	H [m]	L_u [m]	ϕ	L_e [m]	Z/L_e	X/L_d	A	B	s	c_o	Intervalo de validade
45°	28,0	380,7	0,07	380,7	0,03	1,00	0,96	-1,74	0,17	1,02	22,5° ≤ θ_x < 47,5°
50°	35,0	423,0	0,08	423,0	0,02	1,00	0,97	-1,74	0,17	1,03	47,5° ≤ θ_x < 52,5°
55°	51,0	470,0	0,11	470,0	0,02	1,00	0,97	-1,74	0,17	1,04	52,5° ≤ θ_x < 57,5°
60°	119,0	549,0	0,22	549,0	0,02	1,00	0,98	-1,75	0,17	1,07	57,5° ≤ θ_x < 62,5°
65°	126,0	548,0	0,23	548,0	0,02	1,00	0,98	-1,75	0,17	1,08	62,5° ≤ θ_x < 67,5°
70°	160,0	1 470,0	0,11	1 470,0	0,01	1,00	1,00	-1,76	0,17	1,04	67,5° ≤ θ_x < 72,5°

A correção pela mudança de rugosidade ou pelo coeficiente de orografia não foi aplicada a velocidades do vento inferiores ou iguais a 1,5m/s devido a não conterem energia suficiente. Na Figura B.8 e na Figura B.9 apresentam-se a distribuição da velocidade corrigida e a direção do vento para cada mês no ano de referência, e na Figura B.10 o perfil anual de velocidades do vento.

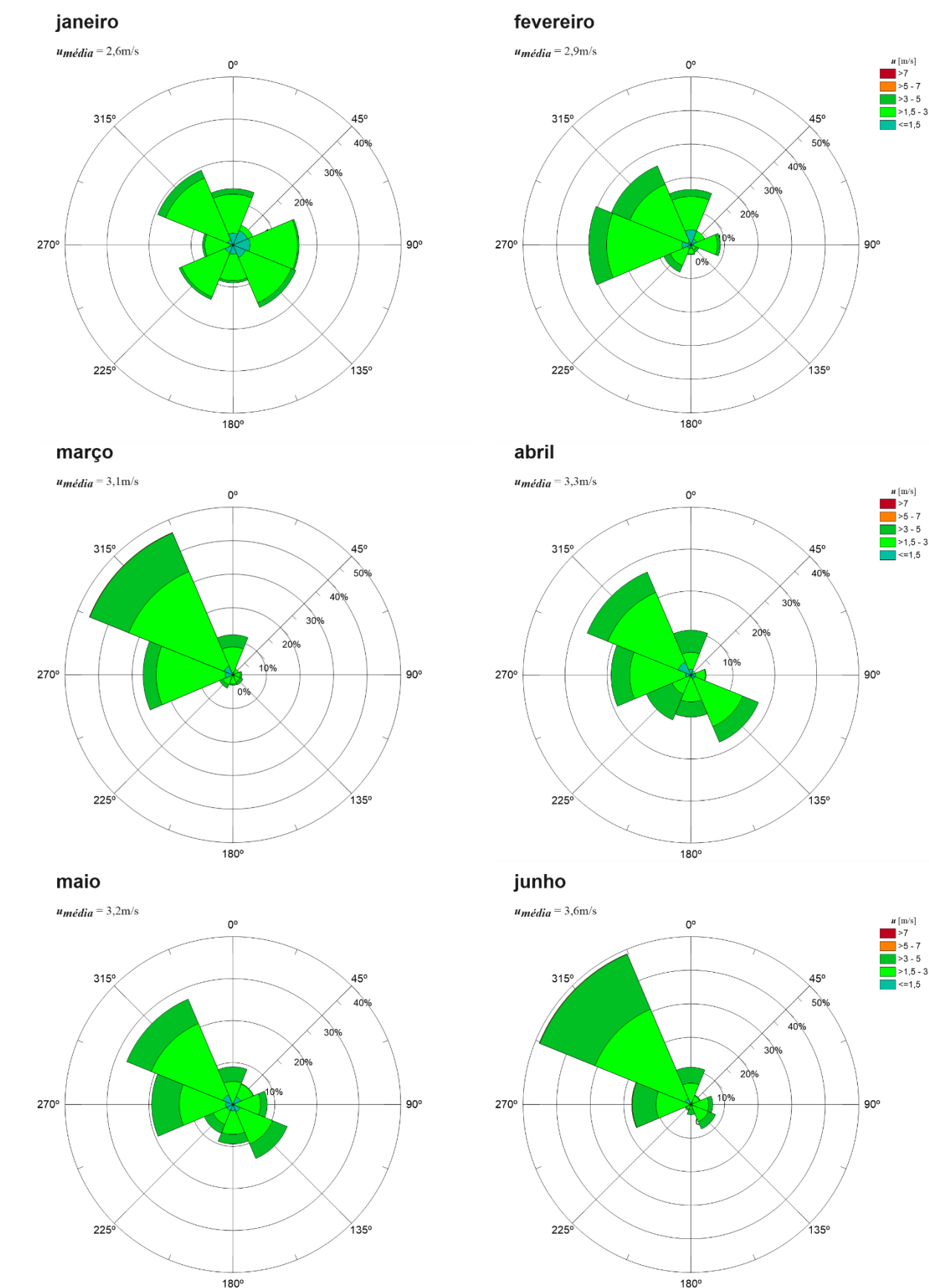


Figura B.8 – Distribuição da direção e velocidade do vento para os meses de janeiro a junho no ano de referência.

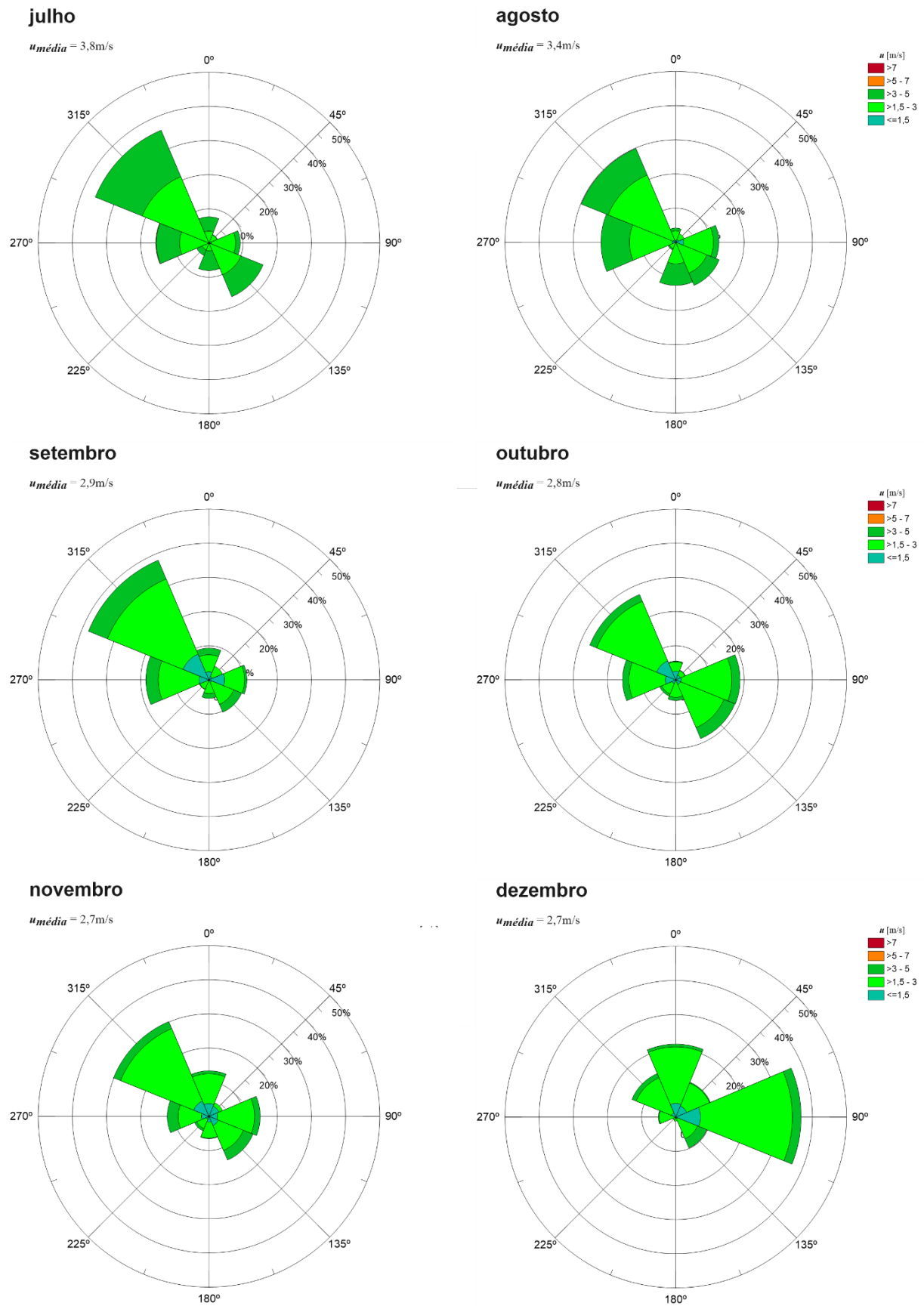


Figura B.9 – Distribuição da direção e velocidade do vento para os meses de janeiro a junho no ano de referência.

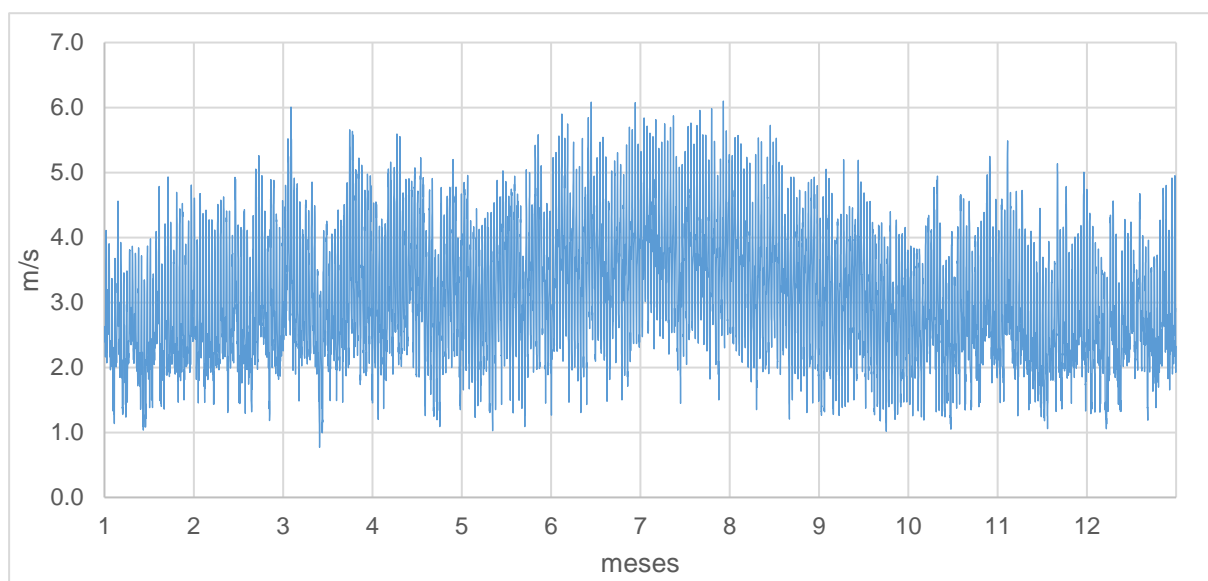


Figura B.10 – Perfil anual de velocidades do vento para o ano de referência.

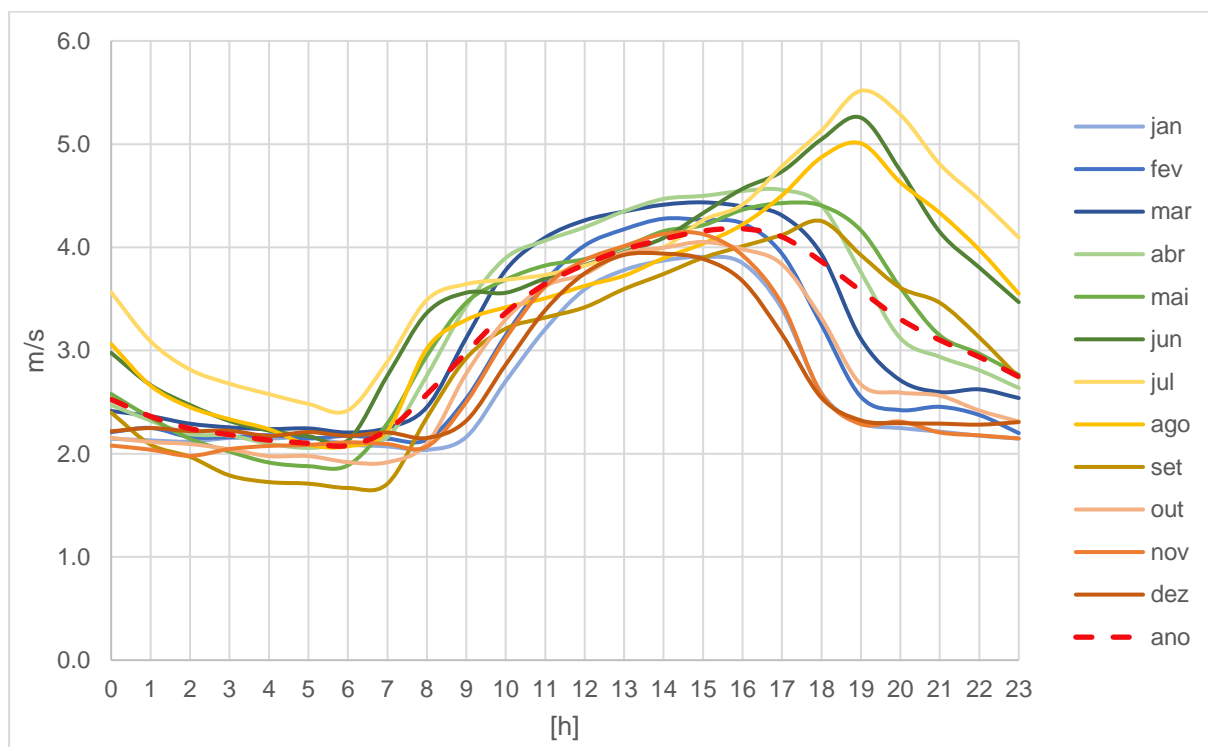


Figura B.11 – Perfil diário típico de velocidades do vento para o ano de referência.

O perfil anual horário da velocidade média do vento para o local de construção do edifício ESNE foi inserido diretamente no ficheiro climático do tipo EPW. Já o vetor horário da direção do vento do ano de referência antes de ser transcrito para o ficheiro climático, foi convertido num de um vetor horário de setores de direção do vento atendendo aos oito setores de vento definidos. Com isto pretendeu-se que o *EnergyPlus®* não realizasse interpolações descabidas entre os valores de c_p experimentais para as aberturas.

B.2. Ensaio no Túnel de Vento

B.2.1. Referencial e pontos de medição do modelo do edifício

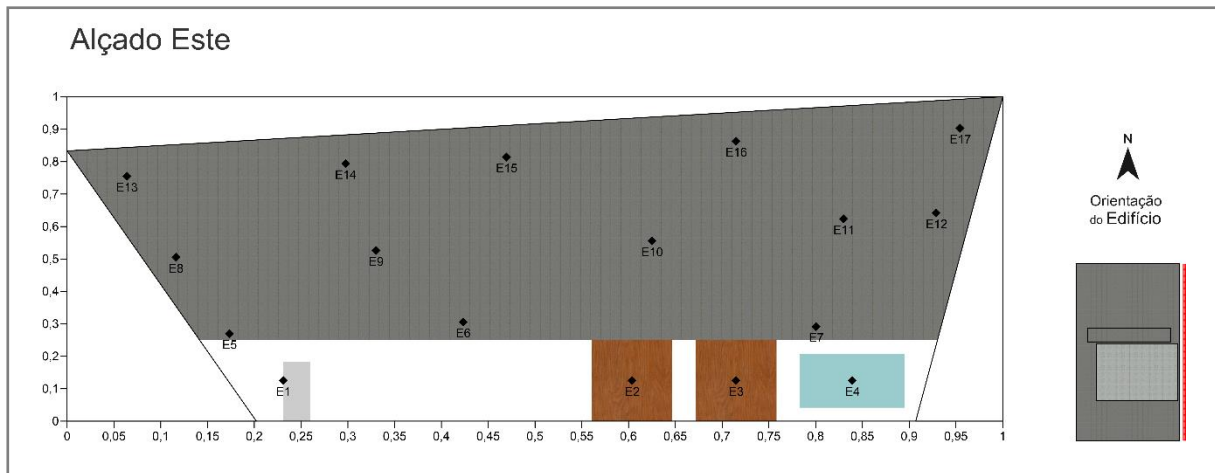


Figura B.12 – Alçado Este: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas E1-E17).

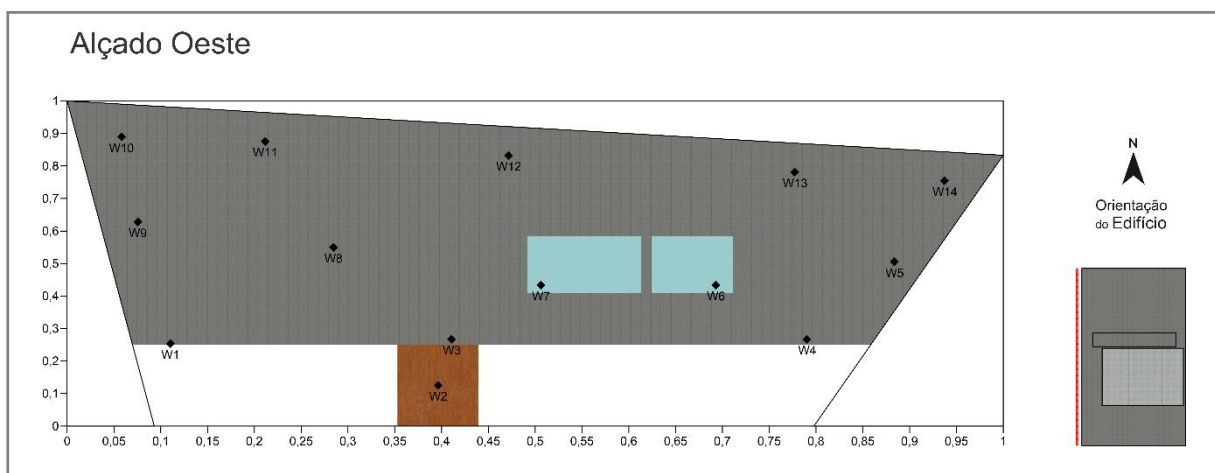


Figura B.13 – Alçado Oeste: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas W1-W14).

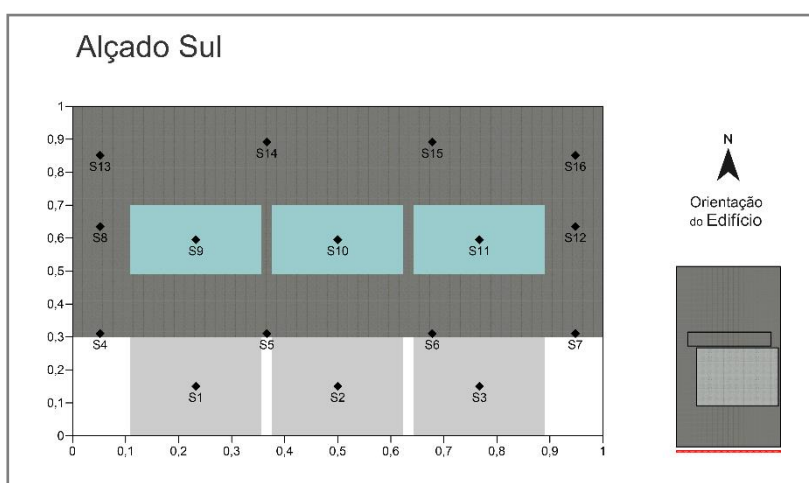
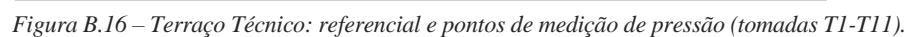


Figura B.14 – Alçado Sul: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas S1-S16).



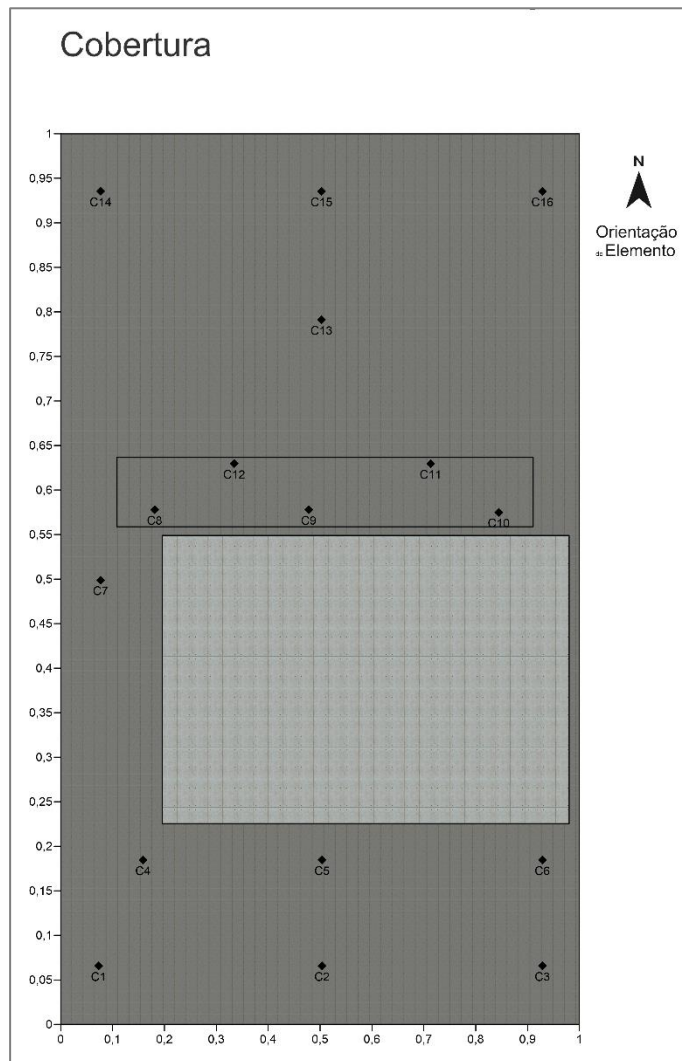


Figura B.18 – Cobertura: referencial e pontos de medição de pressão (tomadas C1-C16).

B.2.2. Resultados dos Ensaio no Túnel de Vento

Tabela B.4 – Ensaio não Urbanizado: coeficientes de pressão obtidos em cada ponto de medição para as oito direções de vento.

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
S1	0,23	0,15	-0,47	-0,69	-0,60	-0,24	0,53	0,42	-1,16	-0,68
S2	0,50	0,15	-0,43	-0,67	-0,73	0,15	0,71	0,25	-0,79	-0,69
S3	0,77	0,15	-0,43	-0,66	-1,04	0,35	0,54	-0,03	-0,64	-0,71
S4	0,05	0,31	-0,46	-0,74	-0,56	-0,63	-0,14	0,37	-1,33	-0,68
S5	0,37	0,31	-0,47	-0,69	-0,63	-0,06	0,56	0,29	-1,11	-0,69
S6	0,68	0,31	-0,43	-0,68	-0,96	0,19	0,55	0,07	-0,71	-0,71
S7	0,95	0,31	-0,43	-0,67	-1,27	0,30	-0,14	-0,62	-0,60	-0,76
S8	0,05	0,63	-0,47	-0,72	-0,55	-0,57	-0,01	0,48	-1,30	-0,67
S9	0,23	0,59	-0,49	-0,71	-0,60	-0,17	0,39	0,33	-1,29	-0,69
S10	0,50	0,59	-0,45	-0,67	-0,78	0,11	0,54	0,18	-0,87	-0,70
S11	0,77	0,59	-0,44	-0,67	-0,91	0,23	0,34	-0,04	-0,74	-0,73
S12	0,95	0,63	-0,45	-0,66	-1,17	0,39	-0,09	-0,69	-0,60	-0,75
S13	0,05	0,85	-0,49	-0,74	-0,55	-0,39	0,46	0,66	-1,27	-0,70
S14	0,37	0,89	-0,50	-0,71	-0,64	0,04	0,77	0,32	-1,20	-0,72
S15	0,68	0,89	-0,45	-0,72	-0,98	0,24	0,77	0,20	-0,73	-0,72
S16	0,95	0,85	-0,45	-0,67	-1,25	0,59	0,40	-0,31	-0,57	-0,75
E1	0,23	0,12	-0,46	-0,35	0,10	0,30	-1,18	-1,20	-0,59	-0,67
E2	0,60	0,12	-0,99	0,18	0,37	-0,06	-0,56	-0,93	-0,51	-1,02
E3	0,71	0,12	-1,17	0,27	0,41	-0,08	-0,47	-0,84	-0,51	-1,08
E4	0,84	0,12	-1,22	0,37	0,27	-0,25	-0,46	-0,73	-0,51	-1,12
E5	0,17	0,27	-0,47	-0,63	0,17	0,37	-1,28	-1,23	-0,61	-0,67
E6	0,42	0,31	-0,65	0,02	0,19	0,15	-1,00	-1,18	-0,54	-0,90
E7	0,80	0,20	-1,31	0,29	0,24	-0,19	-0,52	-0,80	-0,53	-1,16
E8	0,12	0,50	-0,42	-0,26	0,25	0,55	-1,46	-1,22	-0,60	-0,82

PROJETO DE EDIFÍCIO DE SERVIÇOS COM BALANÇO DE ENERGIA NULO

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
E9	0,33	0,53	-0,52	0,03	0,33	0,25	-1,09	-1,24	-0,59	-0,97
E10	0,63	0,56	-1,10	0,23	0,42	0,03	-0,66	-1,07	-0,51	-1,14
E11	0,83	0,62	-1,34	0,38	0,55	-0,12	-0,58	-0,93	-0,53	-1,17
E12	0,93	0,64	-1,37	0,67	0,46	-0,26	-0,51	-0,85	-0,52	-1,13
E13	0,06	0,75	-0,39	-0,18	0,53	0,39	-1,86	-1,21	-0,60	-0,81
E14	0,30	0,79	-0,25	0,09	0,58	0,35	-0,54	-0,76	-0,32	-0,54
E15	0,47	0,81	-0,39	0,18	0,57	0,29	-0,43	-0,68	-0,29	-0,62
E16	0,71	0,86	-1,26	0,11	0,54	-0,07	-0,61	-0,93	-0,52	-1,12
E17	0,95	0,90	-1,36	0,47	0,45	-0,33	-0,59	-0,82	-0,52	-1,12
N1	0,06	0,26	0,01	0,15	-1,34	-0,73	-0,59	-0,80	-0,52	-0,49
N2	0,58	0,26	0,57	-0,06	-0,81	-0,75	-0,57	-0,75	-0,99	0,16
N3	0,94	0,22	-0,05	-0,59	-0,54	-0,79	-0,57	-0,73	-1,34	0,34
N4	0,06	0,56	0,22	0,35	-1,23	-0,72	-0,58	-0,80	-0,52	-0,50
N5	0,42	0,50	0,58	0,13	-1,15	-0,75	-0,58	-0,77	-0,79	0,04
N6	0,85	0,50	0,33	-0,34	-0,60	-0,79	-0,58	-0,74	-1,31	0,35
N7	0,72	0,66	0,69	-0,11	-0,68	-0,77	-0,58	-0,74	-1,32	0,32
N8	0,06	0,87	0,59	0,41	-1,35	-0,74	-0,58	-0,80	-0,52	-0,37
N9	0,23	0,83	0,79	0,28	-1,47	-0,74	-0,60	-0,78	-0,59	-0,12
N10	0,58	0,83	0,81	0,01	-0,83	-0,74	-0,55	-0,75	-1,05	0,21
N11	0,72	0,88	0,79	-0,05	-0,65	-0,77	-0,57	-0,75	-1,36	0,27
N12	0,94	0,87	0,62	-0,29	-0,52	-0,81	-0,57	-0,74	-1,33	0,47
W1	0,11	0,25	-1,22	-1,04	-0,53	-0,81	-0,47	-0,35	0,00	0,37
W2	0,40	0,13	-1,03	-0,94	-0,51	-0,90	-0,58	0,02	0,38	0,14
W3	0,41	0,27	-1,06	-0,97	-0,51	-0,95	-0,63	0,03	0,36	0,14
W4	0,79	0,27	-0,49	-0,69	-0,59	-1,04	-1,19	0,29	0,00	-0,31
W5	0,88	0,50	-0,49	-0,78	-0,59	-1,04	-1,38	0,52	0,17	-0,35
W6	0,69	0,43	-0,54	-0,82	-0,59	-1,05	-1,13	0,24	0,33	-0,05
W7	0,51	0,43	-0,86	-0,97	-0,53	-1,02	-0,79	0,11	0,34	0,09

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
W8	0,28	0,55	-1,29	-1,05	-0,51	-0,84	-0,49	0,01	0,53	0,28
W9	0,08	0,63	-1,35	-1,02	-0,55	-0,91	-0,53	-0,30	0,43	0,61
W10	0,06	0,89	-1,35	-1,00	-0,55	-0,88	-0,55	-0,31	0,48	0,32
W11	0,21	0,88	-1,12	-1,06	-0,55	-0,85	-0,53	-0,14	0,53	0,06
W12	0,47	0,83	-0,88	-0,93	-0,54	-0,97	-0,65	-0,02	0,48	-0,12
W13	0,78	0,78	-0,49	-0,73	-0,59	-1,04	-0,96	0,13	0,52	-0,19
W14	0,94	0,75	-0,48	-0,80	-0,58	-1,02	-1,69	0,41	0,47	-0,36
T1	0,86	0,50	-0,69	-1,09	-1,10	-0,75	-0,52	0,19	-0,96	-0,71
T2	0,47	0,50	-0,67	-1,10	-1,19	-0,82	-0,47	-0,12	-1,10	-1,07
T3	0,23	0,50	-0,68	-1,05	-1,16	-0,26	-0,43	-0,81	-1,05	-1,09
T4	0,16	0,31	-0,58	-0,95	-0,98	0,06	-0,35	-0,78	-0,94	-1,02
T5	0,90	0,32	-0,66	-1,10	-1,04	0,31	-0,48	-0,60	-0,91	-1,03
T6	0,42	0,32	-0,65	-0,89	-0,93	-0,04	-0,72	-0,62	-0,95	-1,01
T7	0,90	0,50	-0,66	-0,52	-1,27	-0,98	-0,61	-0,64	-1,05	-1,15
T8	0,48	0,50	-0,59	-1,11	-1,24	-0,91	-0,62	-0,64	-1,12	-0,84
T9	0,05	0,50	-0,42	-1,01	-1,15	-0,78	-0,54	-0,21	-0,91	-0,10
T10	0,78	0,55	-0,33	-0,64	-0,72	-0,47	-0,34	-0,17	-0,51	-0,34
T11	0,24	0,65	-0,39	-0,67	-0,66	-0,26	-0,40	0,06	-0,59	-0,76
C1	0,07	0,07	-0,18	-0,43	-0,30	-0,74	-0,96	-0,47	-1,00	-0,84
C2	0,50	0,07	-0,17	-0,46	-0,51	-1,40	-0,78	-1,44	-0,59	-0,47
C3	0,93	0,07	-0,18	-0,75	-1,01	-0,45	-0,94	-0,78	-0,34	-0,42
C4	0,16	0,19	-0,19	-0,38	-0,33	-0,37	-0,57	-0,27	-0,97	-0,79
C5	0,50	0,19	-0,19	-0,53	-0,74	-0,34	-0,63	-0,25	-0,79	-0,58
C6	0,93	0,19	-0,18	-0,82	-1,08	-0,58	-0,50	-0,60	-0,39	-0,38
C7	0,07	0,50	-0,43	-0,76	-0,32	-0,45	-0,20	-0,53	-0,88	-0,75
C8	0,18	0,58	-0,59	-0,50	-0,41	-0,73	-0,55	-0,89	-1,05	-0,72
C9	0,48	0,58	-0,61	-0,27	-0,76	-0,74	-0,45	-0,82	-0,76	-0,24
C10	0,84	0,58	-0,41	-0,62	-1,07	-0,82	-0,54	-0,80	-0,46	-0,45

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
C11	0,71	0,63	-0,66	-0,23	-0,90	-0,75	-0,29	-0,44	-0,45	-0,08
C12	0,33	0,63	-0,68	-0,11	-0,45	-0,57	-0,28	-0,76	-0,89	-0,38
C13	0,50	0,79	-0,90	-0,31	-0,64	-0,48	-0,19	-0,33	-0,62	-0,32
C14	0,07	0,94	-0,81	-0,79	-0,30	-0,45	-0,24	-0,60	-1,15	-0,65
C15	0,50	0,94	-0,80	-1,62	-0,57	-0,42	-0,23	-0,40	-0,53	-1,73
C16	0,93	0,94	-0,94	-0,54	-1,10	-0,61	-0,23	-0,38	-0,26	-0,83
V1	0,96	0,46	-0,72	-1,10	-1,14	-0,97	-0,28	-0,31	-1,10	-0,86
V2	0,53	0,46	-0,70	-1,10	-1,20	-0,79	-0,40	-0,03	-1,11	-1,07
V3	0,04	0,46	-0,82	-1,12	-0,80	-0,36	0,21	-1,01	-1,25	-1,15

Tabela B.5 – Ensaio Urbanizado: coeficientes de pressão obtidos em cada ponto de medição para as oito direções de vento.

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
S1	0,23	0,15	-0,50	-0,90	-0,69	-0,25	0,01	0,47	-1,23	-0,72
S2	0,50	0,15	-0,48	-1,06	-0,77	0,16	0,14	0,28	-0,98	-0,74
S3	0,77	0,15	-0,46	-1,09	-1,02	0,39	0,16	-0,01	-0,80	-0,75
S4	0,05	0,31	-0,49	-0,81	-0,68	-0,66	-0,36	0,40	-1,29	-0,71
S5	0,37	0,31	-0,50	-0,97	-0,70	-0,10	0,02	0,32	-1,20	-0,72
S6	0,68	0,31	-0,48	-1,13	-0,87	0,15	0,07	0,08	-0,91	-0,76
S7	0,95	0,31	-0,47	-1,04	-1,45	0,23	-0,19	-0,74	-0,74	-0,77
S8	0,05	0,63	-0,51	-0,99	-0,71	-0,71	-0,44	0,59	-1,31	-0,70
S9	0,23	0,59	-0,52	-1,08	-0,70	-0,31	-0,25	0,31	-1,35	-0,72
S10	0,50	0,59	-0,50	-1,16	-0,75	-0,08	-0,15	0,12	-1,07	-0,75
S11	0,77	0,59	-0,49	-1,14	-0,90	0,09	-0,13	-0,07	-0,62	-0,77
S12	0,95	0,63	-0,47	-1,12	-1,35	0,23	-0,30	-0,79	-0,72	-0,79

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
S13	0,05	0,85	-0,51	-1,11	-0,72	-0,56	-0,16	0,82	-1,44	-0,68
S14	0,37	0,89	-0,53	-1,15	-0,78	-0,20	-0,09	0,33	-1,25	-0,74
S15	0,68	0,89	-0,49	-1,19	-0,88	0,11	-0,01	0,13	-0,87	-0,75
S16	0,95	0,85	-0,48	-1,14	-1,53	0,44	0,02	-0,39	-0,68	-0,76
E1	0,23	0,12	-0,47	-0,62	0,13	0,09	-0,72	-1,52	-0,66	-0,64
E2	0,60	0,12	-0,62	-0,08	-0,18	-0,05	-0,45	-0,85	-0,72	-1,01
E3	0,71	0,12	-0,81	-0,03	-0,21	-0,11	-0,45	-0,73	-0,74	-1,17
E4	0,84	0,12	-1,08	-0,02	-0,34	-0,30	-0,47	-0,71	-0,75	-1,26
E5	0,17	0,27	-0,49	-0,92	-0,33	0,13	-0,67	-1,50	-0,68	-0,70
E6	0,42	0,31	-0,55	-0,26	-0,21	0,02	-0,48	-1,46	-0,70	-0,96
E7	0,80	0,20	-1,07	0,01	-0,41	-0,25	-0,49	-0,84	-0,76	-1,33
E8	0,12	0,50	-0,46	-0,70	0,05	0,36	-0,61	-1,52	-0,68	-0,79
E9	0,33	0,53	-0,50	-0,30	0,15	0,10	-0,51	-1,55	-0,66	-0,99
E10	0,63	0,56	-0,64	-0,06	-0,32	-0,06	-0,51	-1,28	-0,74	-1,28
E11	0,83	0,62	-1,11	0,00	-0,35	-0,21	-0,50	-1,00	-0,77	-1,34
E12	0,93	0,64	-1,61	0,06	-0,42	-0,35	-0,50	-0,89	-0,77	-1,29
E13	0,06	0,75	-0,43	-0,50	0,31	0,45	-0,68	-1,60	-0,67	-0,72
E14	0,30	0,79	-0,43	-0,27	0,67	0,29	-0,48	-1,36	-0,59	-0,77
E15	0,47	0,81	-0,45	-0,10	0,33	0,15	-0,60	-1,25	-0,64	-0,85
E16	0,71	0,86	-0,71	-0,15	0,01	-0,05	-0,50	-1,00	-0,77	-1,27
E17	0,95	0,90	-1,82	-0,01	-0,31	-0,34	-0,53	-0,79	-0,78	-1,30
N1	0,06	0,26	-0,13	0,83	-0,97	-0,70	-0,56	-0,88	-0,93	-0,61
N2	0,58	0,26	0,29	0,25	-0,76	-0,73	-0,57	-0,82	-1,55	-0,01
N3	0,94	0,22	-0,22	-0,48	-0,76	-0,76	-0,58	-0,80	-1,47	0,02
N4	0,06	0,56	0,07	0,94	-1,01	-0,69	-0,56	-0,88	-0,88	-0,53
N5	0,42	0,50	0,27	0,59	-0,81	-0,72	-0,56	-0,87	-1,43	-0,07
N6	0,85	0,50	-0,10	-0,19	-0,75	-0,76	-0,60	-0,81	-1,52	0,01
N7	0,72	0,66	0,26	0,08	-0,76	-0,75	-0,61	-0,83	-1,65	0,04

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
N8	0,06	0,87	0,52	0,96	-1,12	-0,69	-0,56	-0,88	-0,82	-0,18
N9	0,23	0,83	0,54	0,72	-0,92	-0,69	-0,57	-0,88	-1,06	0,06
N10	0,58	0,83	0,49	0,30	-0,78	-0,71	-0,58	-0,84	-1,60	0,11
N11	0,72	0,88	0,52	0,15	-0,78	-0,74	-0,60	-0,84	-1,67	0,07
N12	0,94	0,87	0,32	-0,17	-0,78	-0,76	-0,59	-0,82	-1,56	0,13
W1	0,11	0,25	-0,91	-0,85	-0,82	-0,81	-0,51	-0,44	0,11	0,18
W2	0,40	0,13	-0,56	-0,90	-0,75	-0,88	-0,49	-0,13	0,49	0,07
W3	0,41	0,27	-0,57	-0,92	-0,75	-0,97	-0,51	-0,13	0,46	0,05
W4	0,79	0,27	-0,48	-1,01	-0,70	-1,06	-0,74	0,09	0,07	-0,38
W5	0,88	0,50	-0,49	-1,03	-0,71	-1,07	-0,79	0,30	0,10	-0,46
W6	0,69	0,43	-0,47	-0,98	-0,70	-1,07	-0,60	0,04	0,24	-0,13
W7	0,51	0,43	-0,51	-0,95	-0,72	-1,05	-0,55	-0,06	0,49	0,01
W8	0,28	0,55	-0,71	-0,90	-0,81	-0,96	-0,53	-0,13	0,50	0,17
W9	0,08	0,63	-1,23	-0,86	-0,80	-0,88	-0,56	-0,42	0,50	0,32
W10	0,06	0,89	-1,44	-0,88	-0,84	-0,86	-0,58	-0,43	0,46	0,17
W11	0,21	0,88	-0,74	-0,90	-0,82	-0,88	-0,58	-0,28	0,54	0,02
W12	0,47	0,83	-0,63	-0,94	-0,74	-0,99	-0,67	-0,15	0,34	-0,19
W13	0,78	0,78	-0,51	-0,99	-0,72	-1,06	-0,64	-0,10	0,32	-0,28
W14	0,94	0,75	-0,50	-1,04	-0,70	-1,07	-0,70	0,22	0,44	-0,43
T1	0,86	0,50	-0,75	-1,28	-1,13	-0,75	-0,31	-0,02	-1,00	-0,73
T2	0,47	0,50	-0,71	-1,27	-0,88	-0,68	-0,14	-0,13	-1,24	-1,08
T3	0,23	0,50	-0,68	-1,09	-0,76	-0,15	-0,31	-0,39	-1,19	-1,12
T4	0,16	0,31	-0,68	-0,99	-0,55	0,20	-0,25	-0,40	-1,12	-1,09
T5	0,90	0,32	-0,68	-0,88	-0,52	0,35	-0,22	-0,87	-1,06	-1,06
T6	0,42	0,32	-0,75	-1,30	-0,56	-0,51	-0,40	-0,66	-1,15	-1,10
T7	0,90	0,50	-0,84	-0,66	-0,61	-0,75	-0,32	-0,64	-1,18	-1,17
T8	0,48	0,50	-0,60	-0,86	-1,01	-0,69	-0,38	-0,56	-1,28	-0,67
T9	0,05	0,50	-0,31	-1,36	-0,95	-0,61	-0,24	-0,15	-1,22	-0,27

Ponto	Coordenadas Adimensionais		$c_p(\theta_v)$							
	x	y	Norte (0°)	Nordeste (45°)	Este (90°)	Sudeste (135°)	Sul (180°)	Sudoeste (225°)	Oeste (270°)	Noroeste (315°)
T10	0,78	0,55	-0,65	-1,05	-0,83	-0,61	-0,31	-0,42	-0,89	-0,62
T11	0,24	0,65	-0,71	-1,08	-0,92	-0,43	-0,42	-0,10	-0,90	-0,79
C1	0,07	0,07	-0,49	-0,67	-0,57	-0,71	-0,42	-0,78	-1,51	-0,87
C2	0,50	0,07	-0,45	-0,73	-0,70	-0,70	-0,45	-0,94	-0,94	-0,61
C3	0,93	0,07	-0,44	-0,99	-1,22	-0,59	-0,50	-1,08	-0,65	-0,58
C4	0,16	0,19	-0,48	-0,62	-0,63	-0,70	-0,34	-0,54	-1,48	-0,94
C5	0,50	0,19	-0,45	-0,62	-0,81	-0,46	-0,33	-0,46	-1,15	-0,63
C6	0,93	0,19	-0,46	-1,09	-1,12	-0,74	-0,38	-0,58	-0,71	-0,55
C7	0,07	0,50	-0,60	-1,05	-0,65	-0,70	-0,44	-0,88	-1,40	-1,13
C8	0,18	0,58	-0,47	-0,70	-0,72	-1,13	-0,87	-1,47	-1,62	-0,78
C9	0,48	0,58	-0,44	-0,54	-0,70	-0,95	-0,88	-1,44	-1,29	-0,54
C10	0,84	0,58	-0,45	-0,66	-1,12	-1,25	-0,95	-1,22	-0,85	-0,53
C11	0,71	0,63	-0,32	0,20	-0,72	-0,95	-0,74	-0,90	-0,90	-0,14
C12	0,33	0,63	-0,33	-0,22	-0,66	-0,78	-0,69	-1,17	-1,53	-0,14
C13	0,50	0,79	-0,76	-0,52	-0,65	-0,60	-0,43	-0,45	-1,29	-0,46
C14	0,07	0,94	-1,39	-0,93	-0,69	-0,69	-0,47	-0,91	-1,47	-0,72
C15	0,50	0,94	-1,46	-1,25	-0,66	-0,63	-0,47	-0,68	-1,30	-1,47
C16	0,93	0,94	-1,55	-0,82	-0,88	-0,84	-0,48	-0,73	-0,67	-1,21
V1	0,96	0,46	-0,80	-1,24	-1,20	-0,68	-0,06	-0,39	-1,11	-0,74
V2	0,53	0,46	-0,72	-1,25	-0,83	-0,56	0,20	0,15	-1,27	-1,09
V3	0,04	0,46	-0,75	-1,33	-0,85	-0,47	-0,45	-0,83	-1,57	-1,17

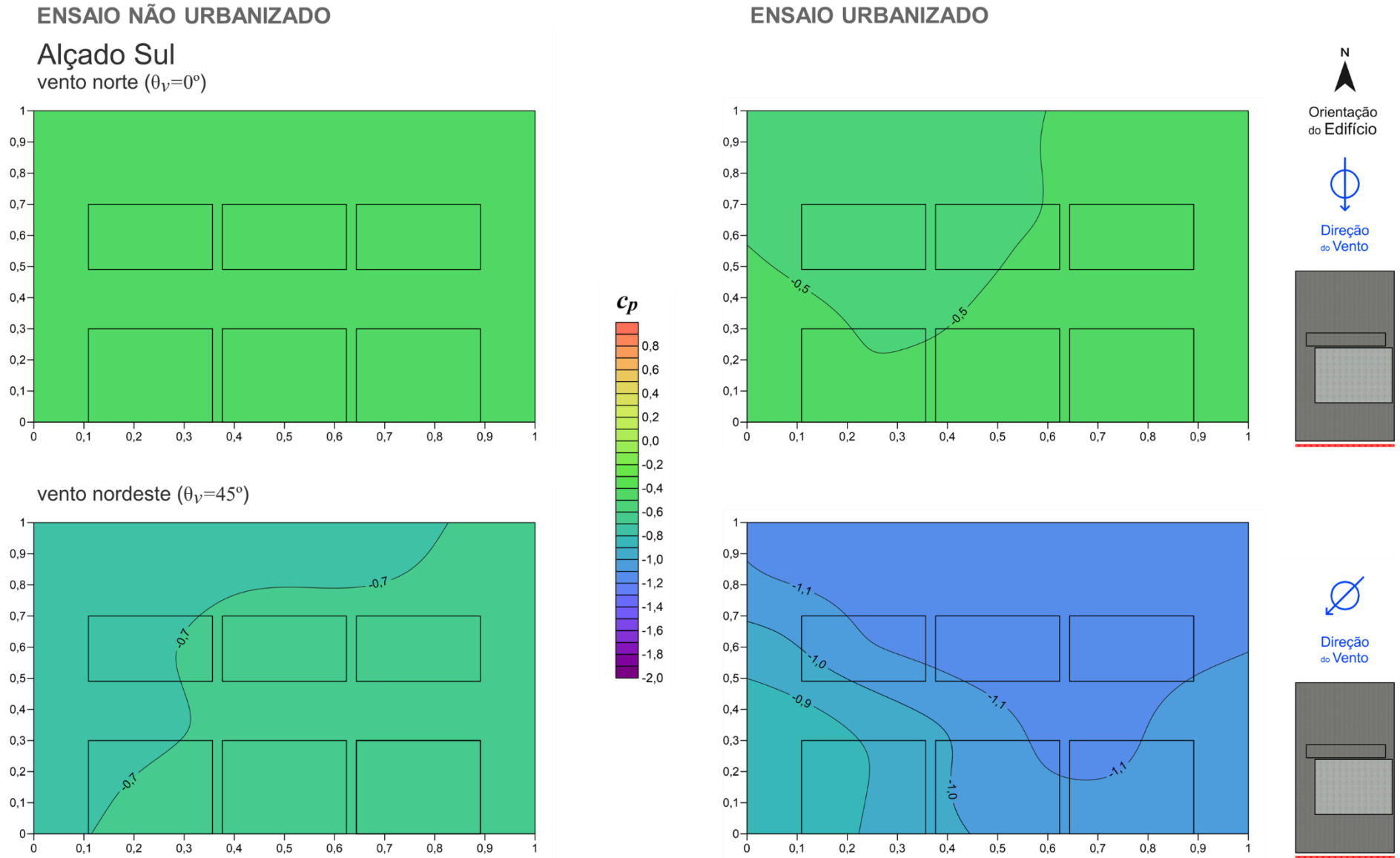


Figura B.19 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

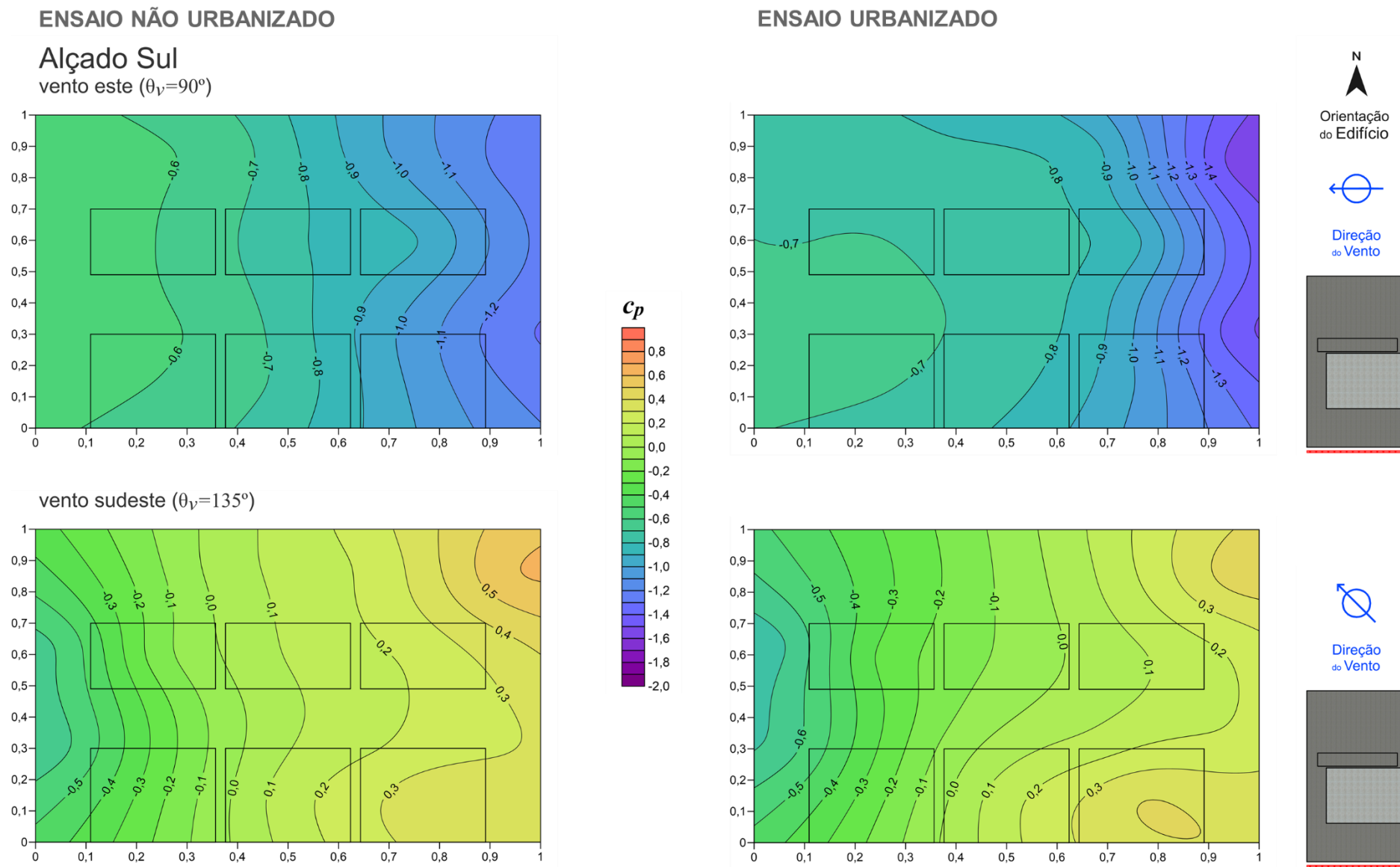
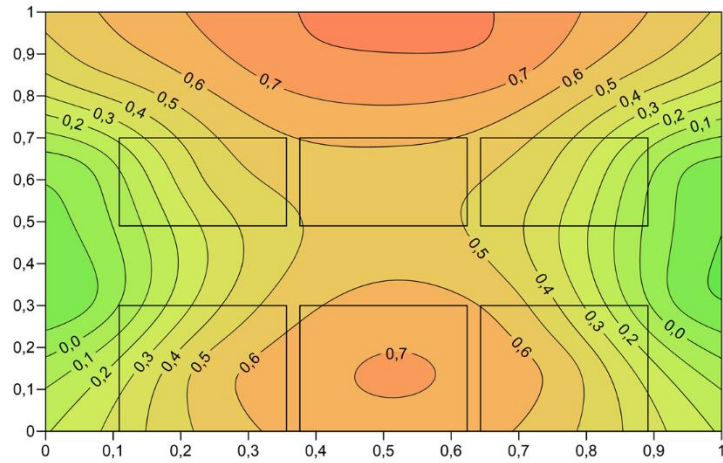
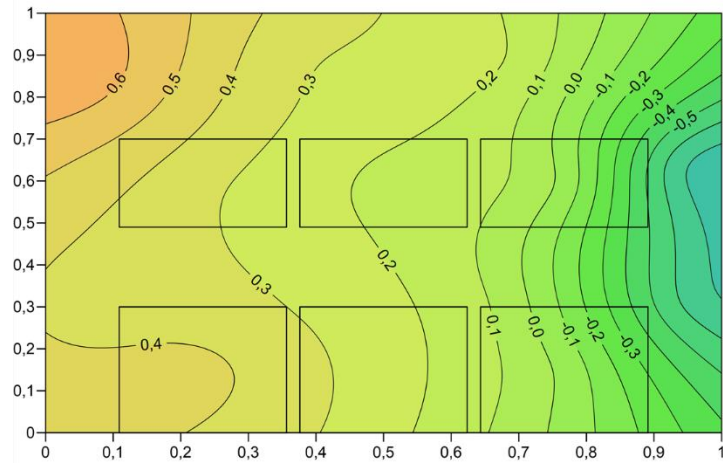


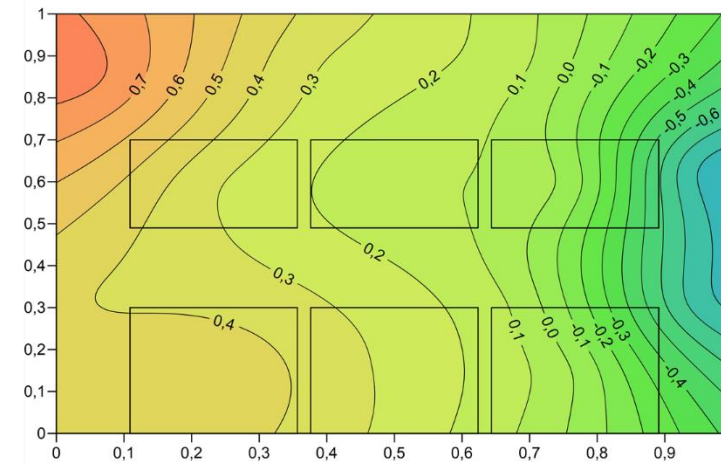
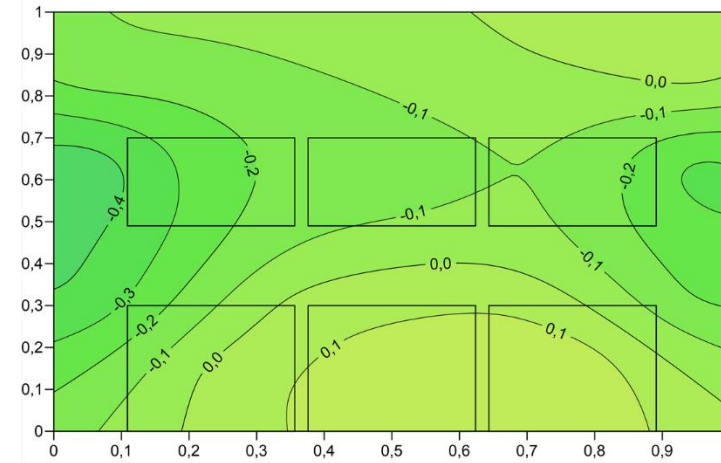
Figura B.20 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).

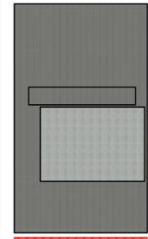
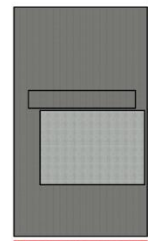
ENSAIO NÃO URBANIZADO

Alçado Sul

 vento sul ($\theta_v=180^\circ$)

 vento sudoeste ($\theta_v=225^\circ$)


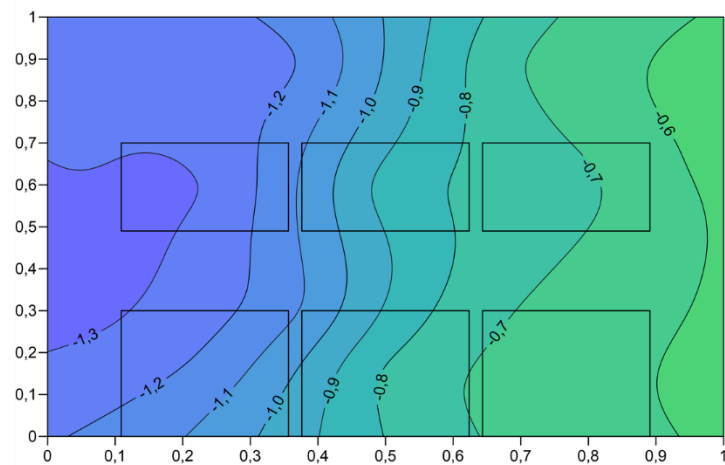
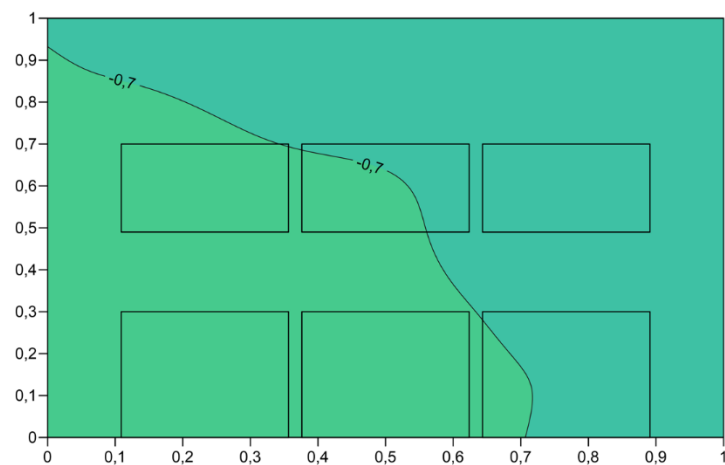
ENSAIO URBANIZADO


 N
 Orientação
do Edifício

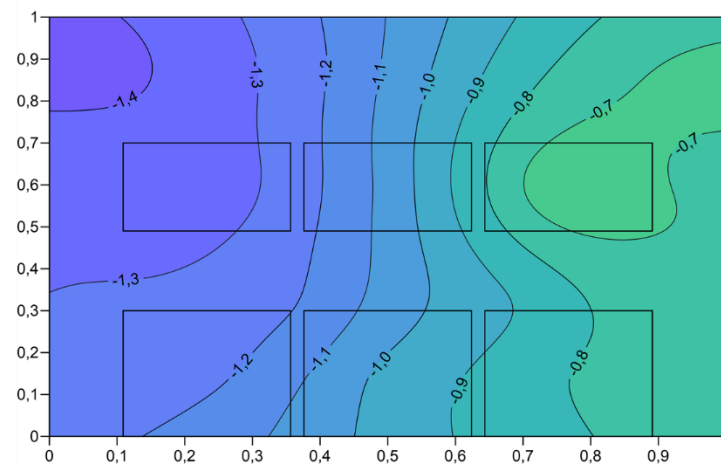
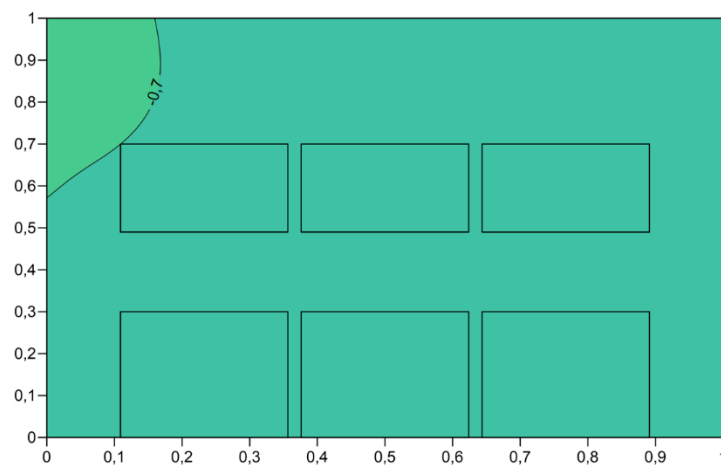
 Direção
do Vento

 Direção
do Vento

 Figura B.21 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

Alçado Sul

vento oeste ($\theta_v=270^\circ$)vento noroeste ($\theta_v=315^\circ$)

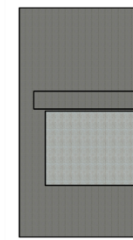
ENSAIO URBANIZADO

vento noroeste ($\theta_v=315^\circ$)

N
↑
Orientação
do Edifício



Direção
do Vento



Direção
do Vento

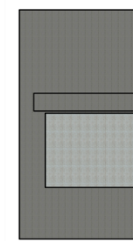


Figura B.22 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado sul para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).

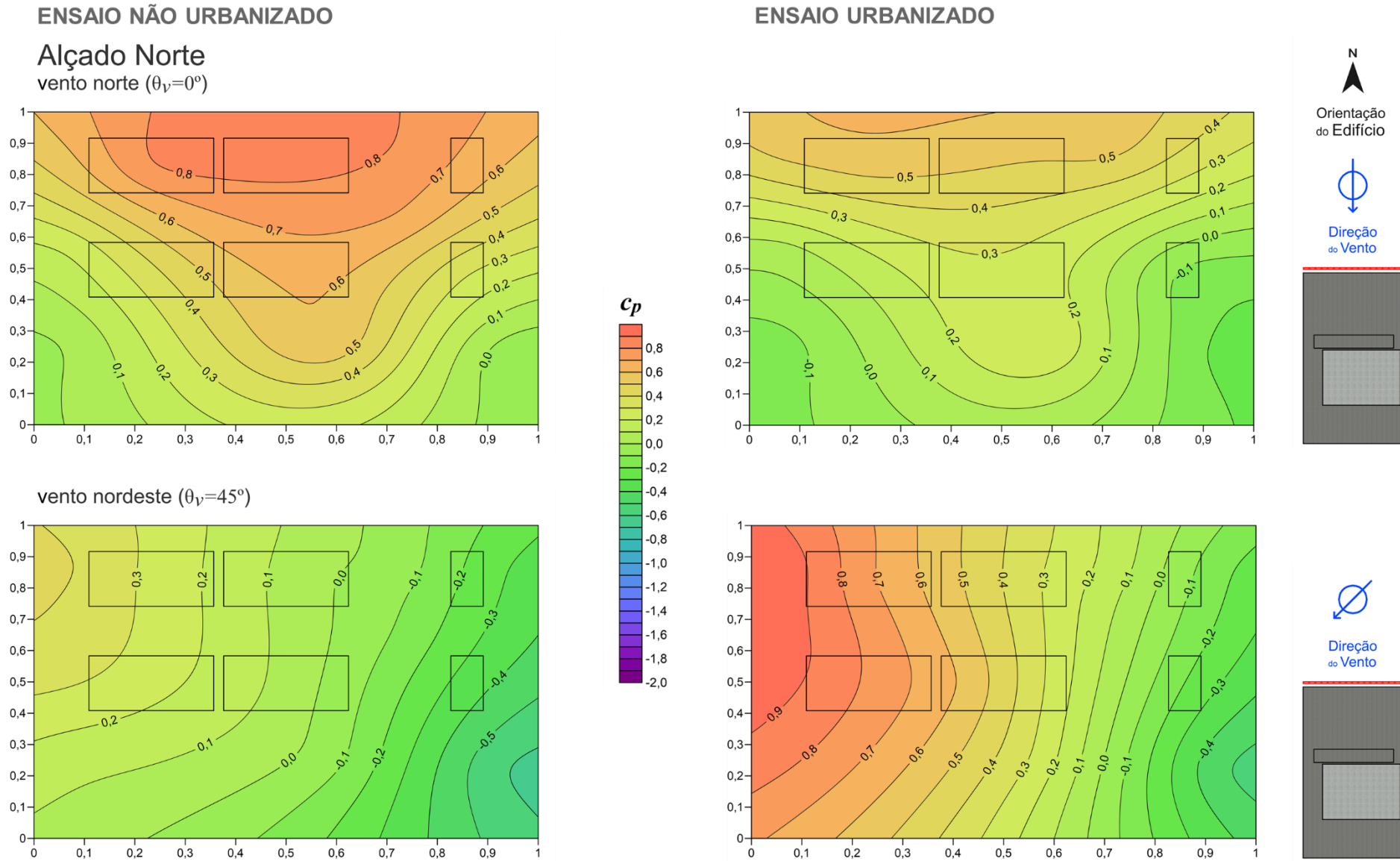


Figura B.23 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

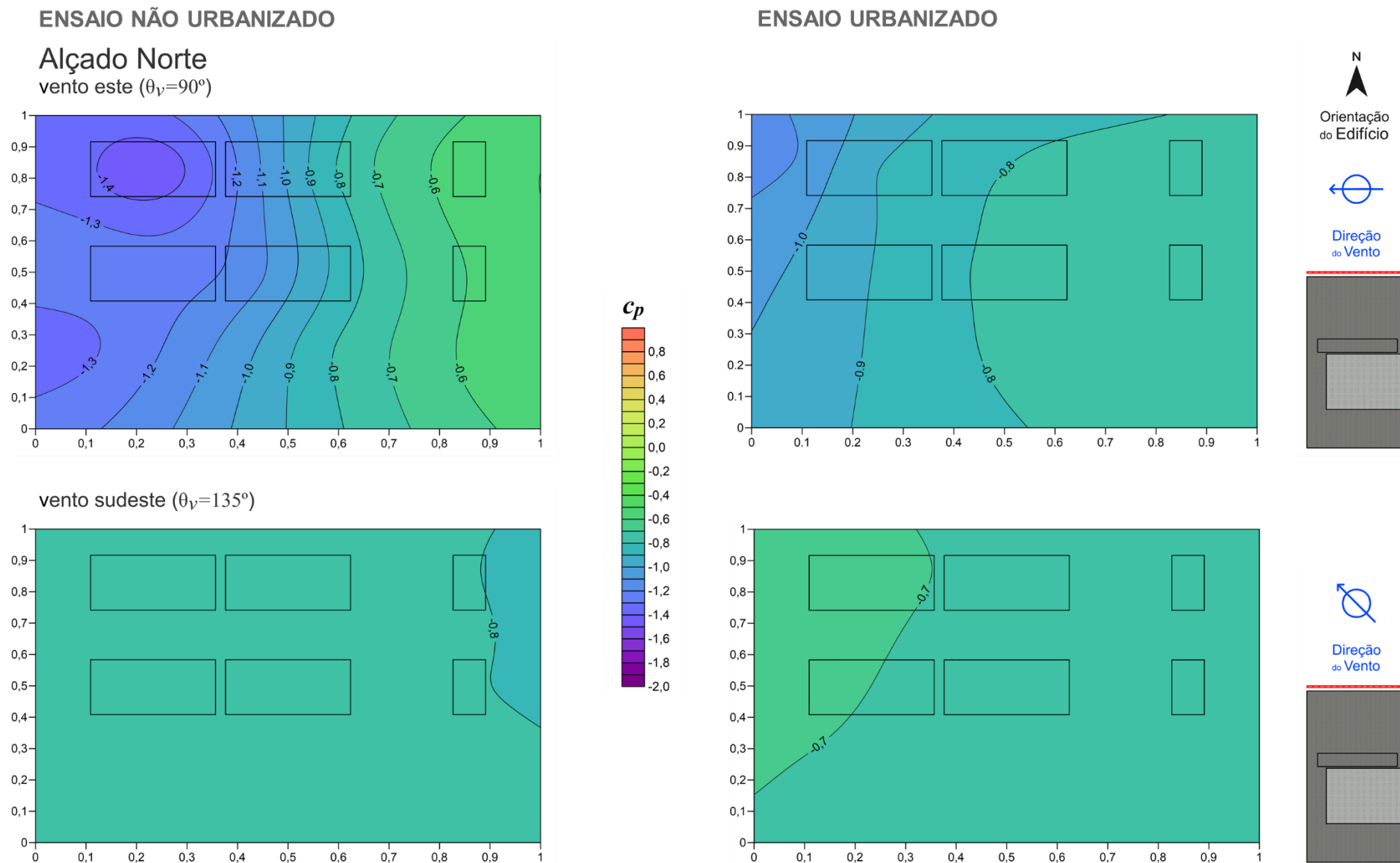


Figura B.24 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).

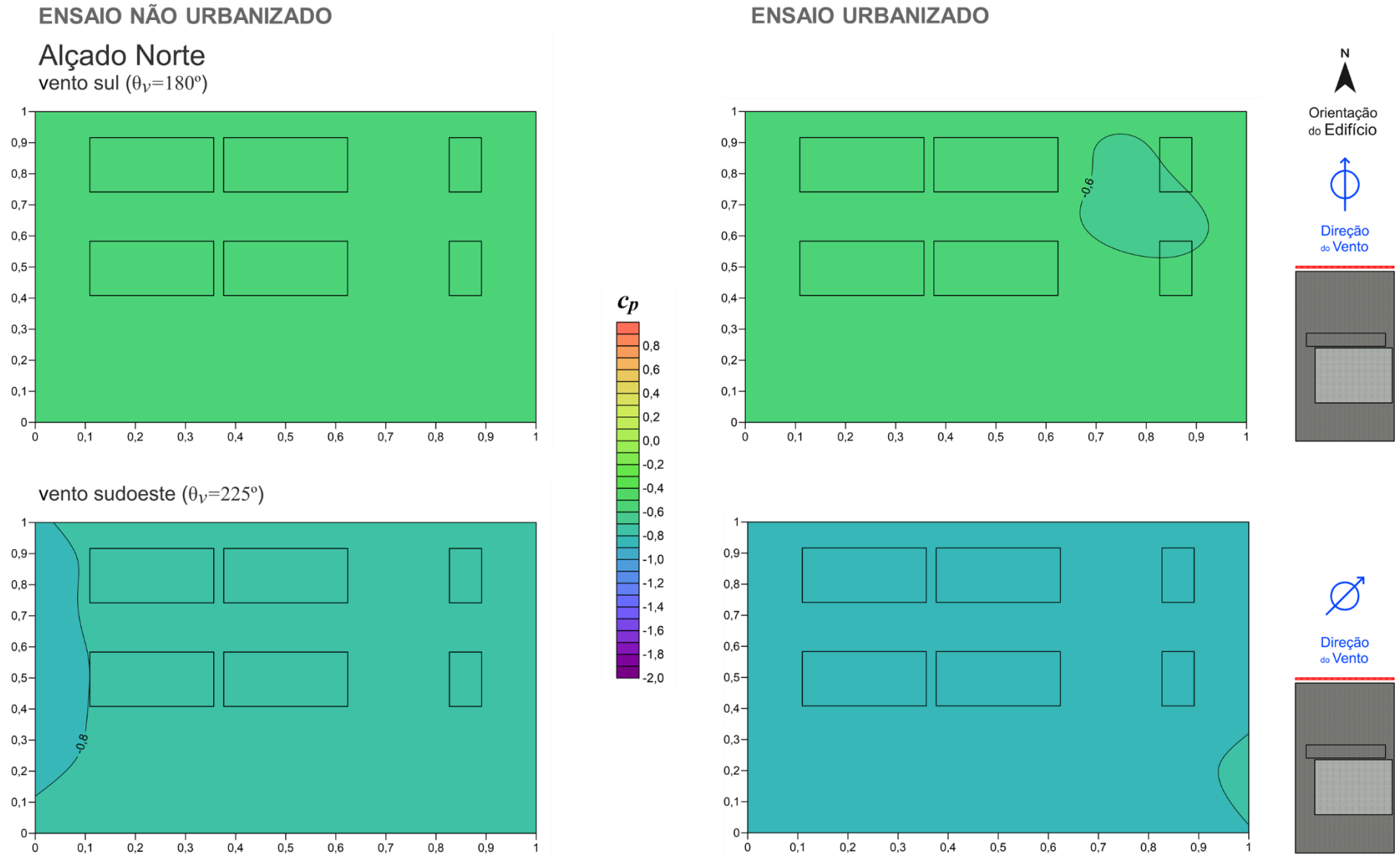


Figura B.25 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

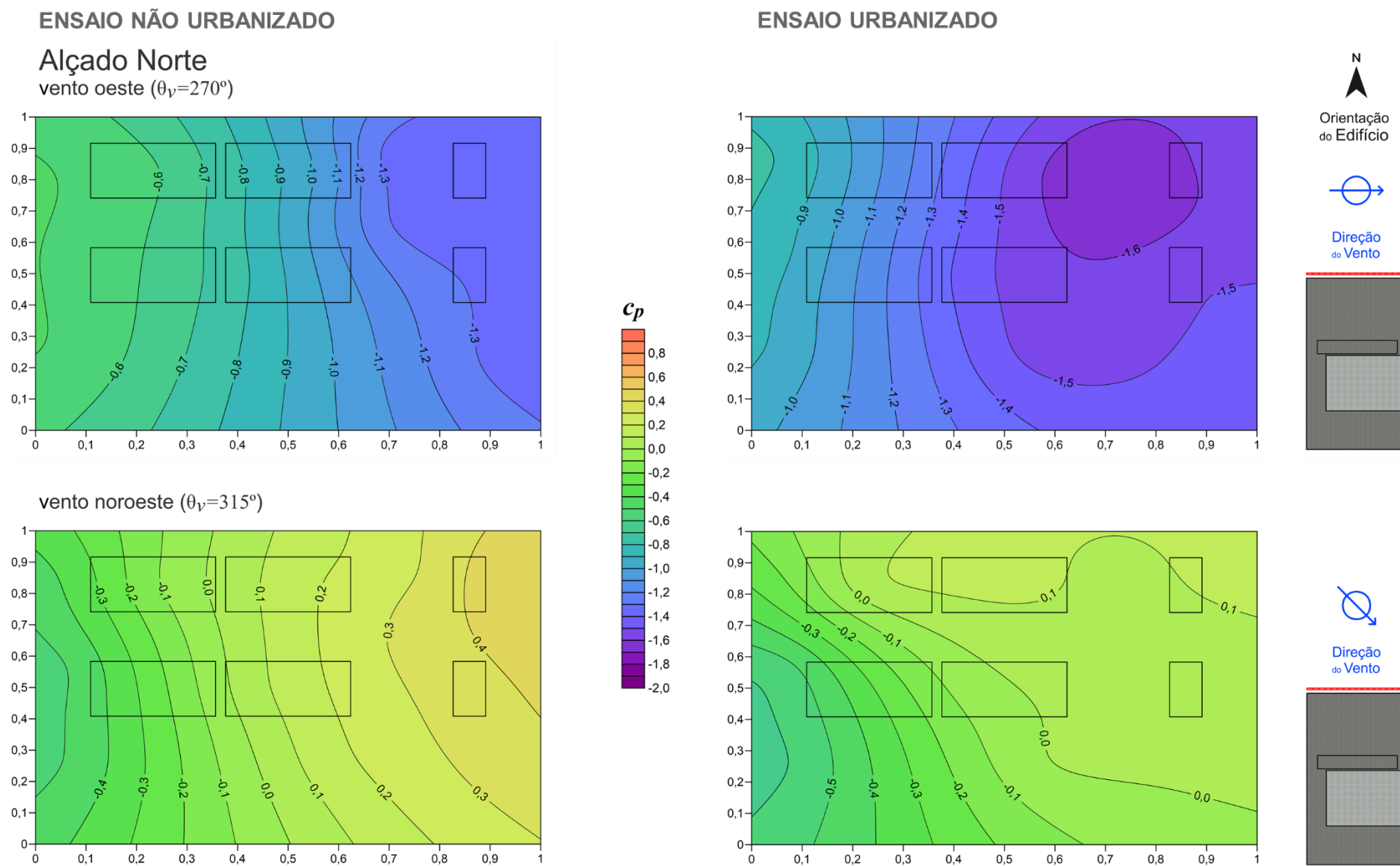


Figura B.26 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado norte para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).

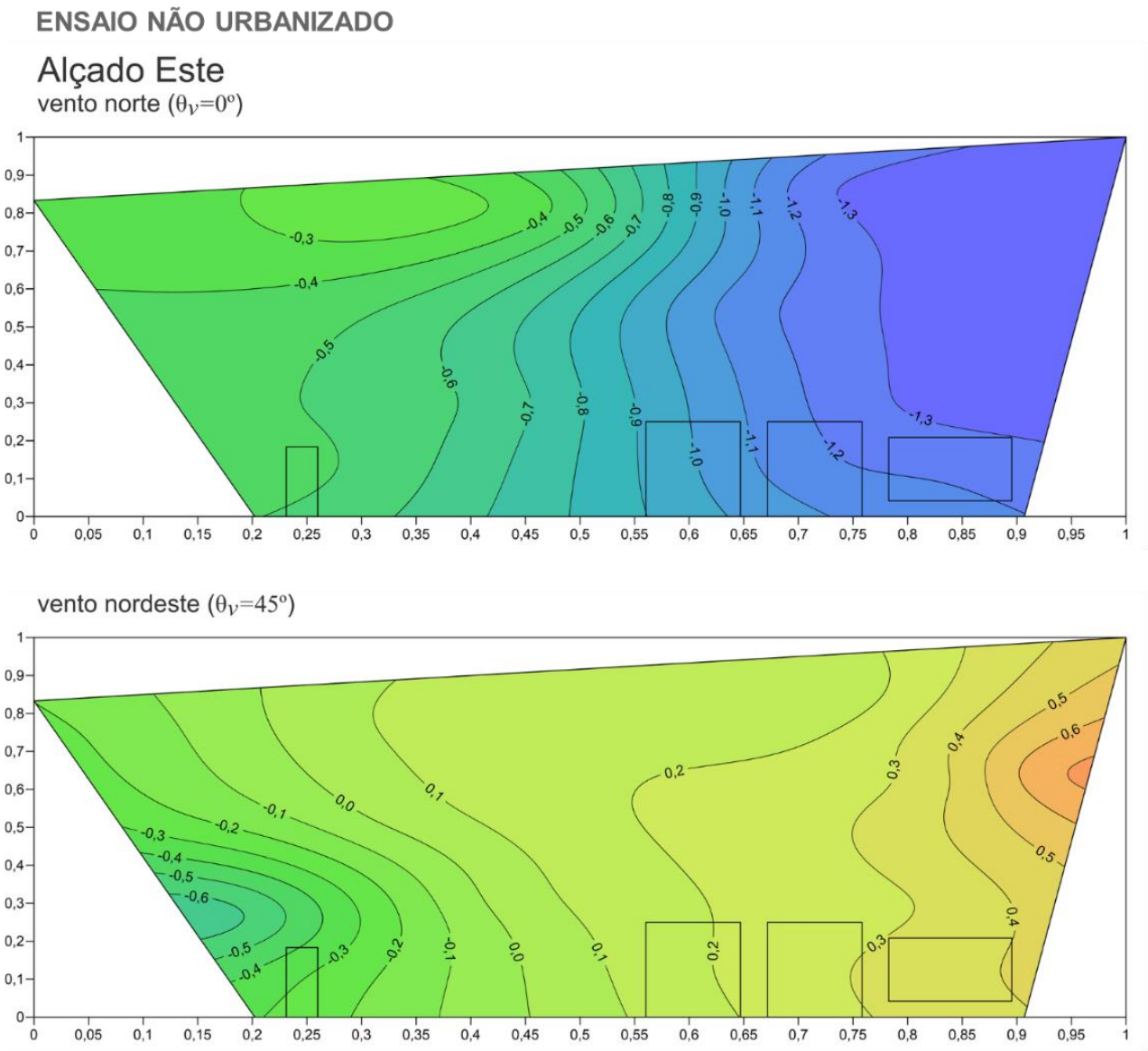
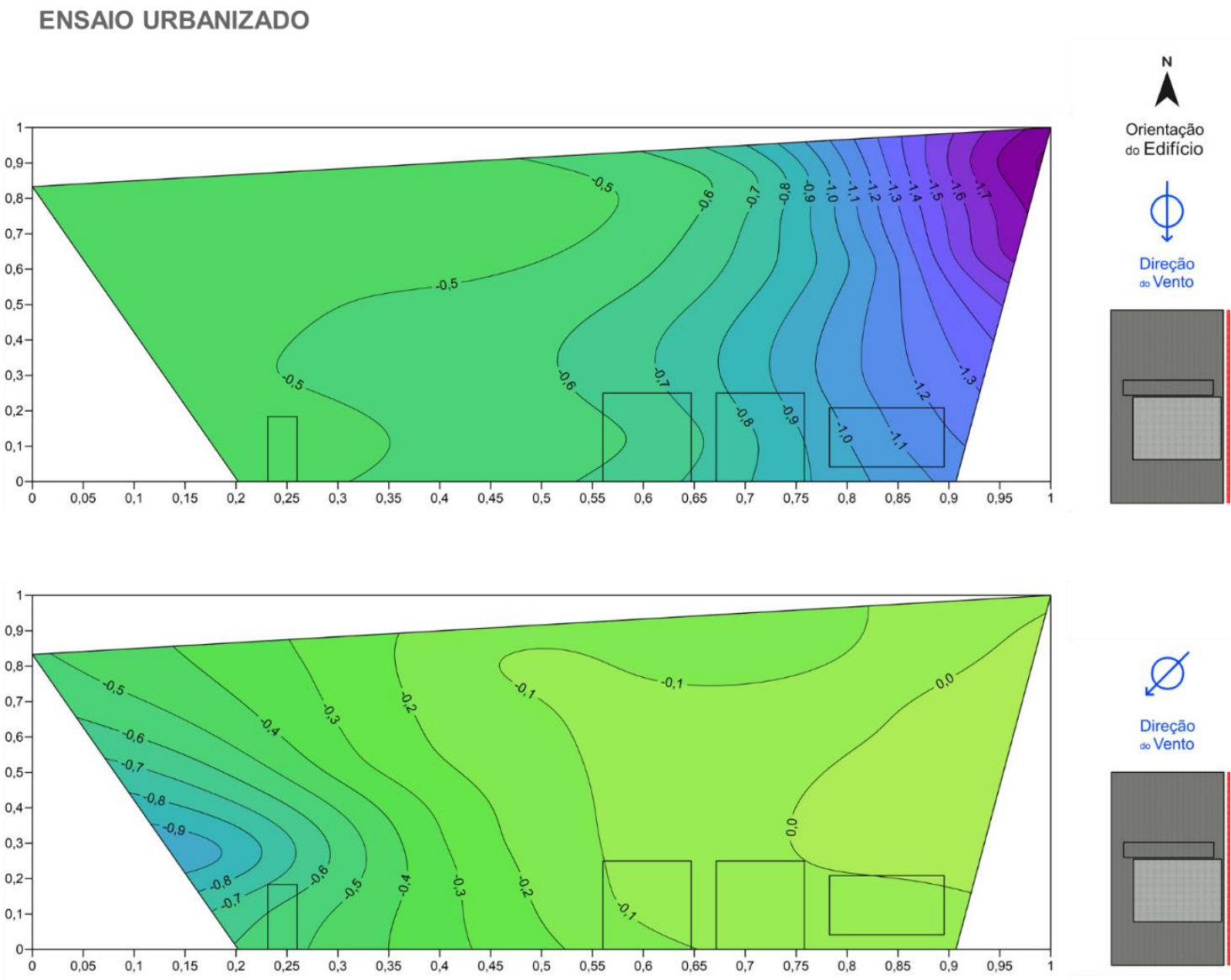


Figura B.27 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).



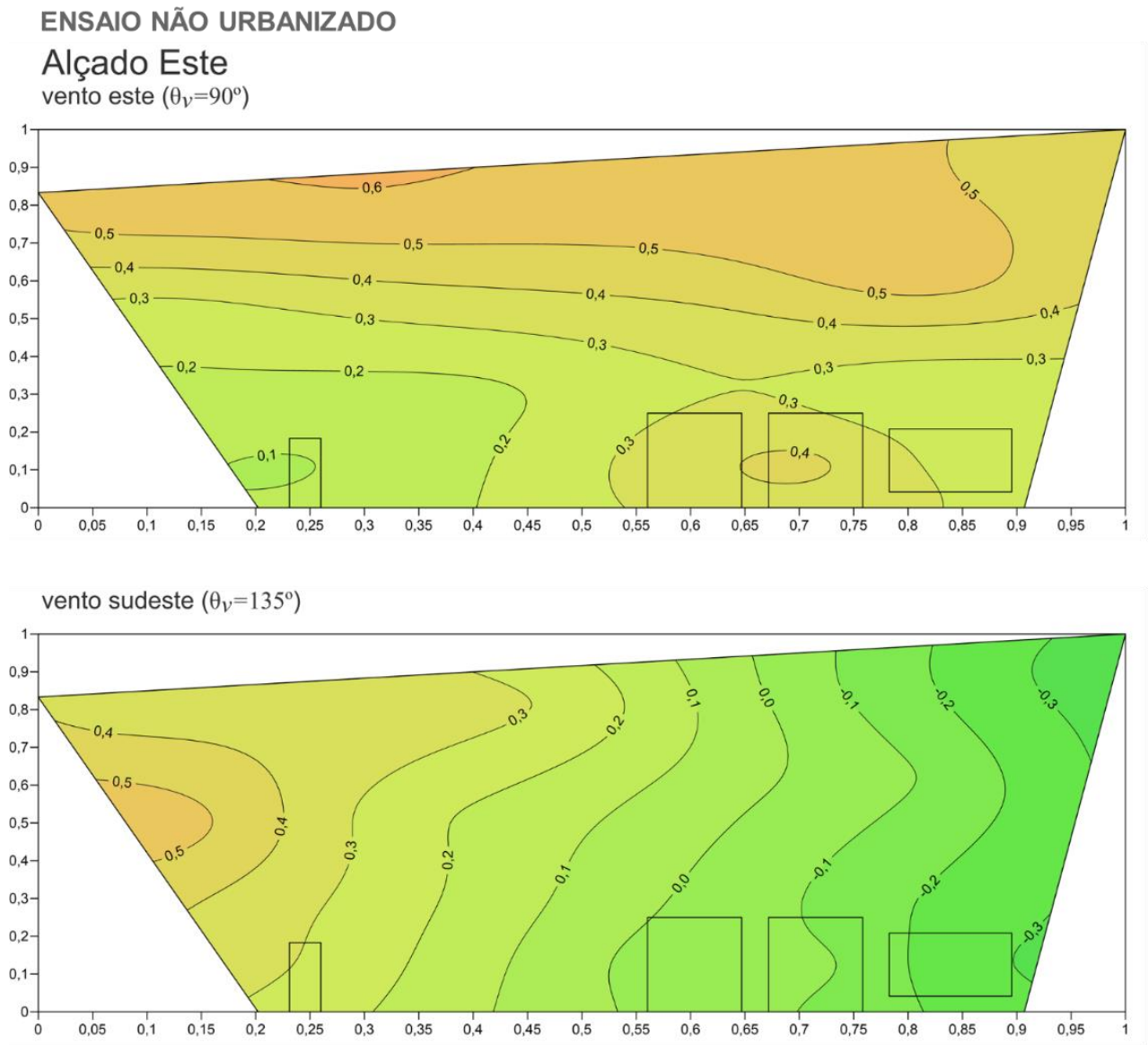
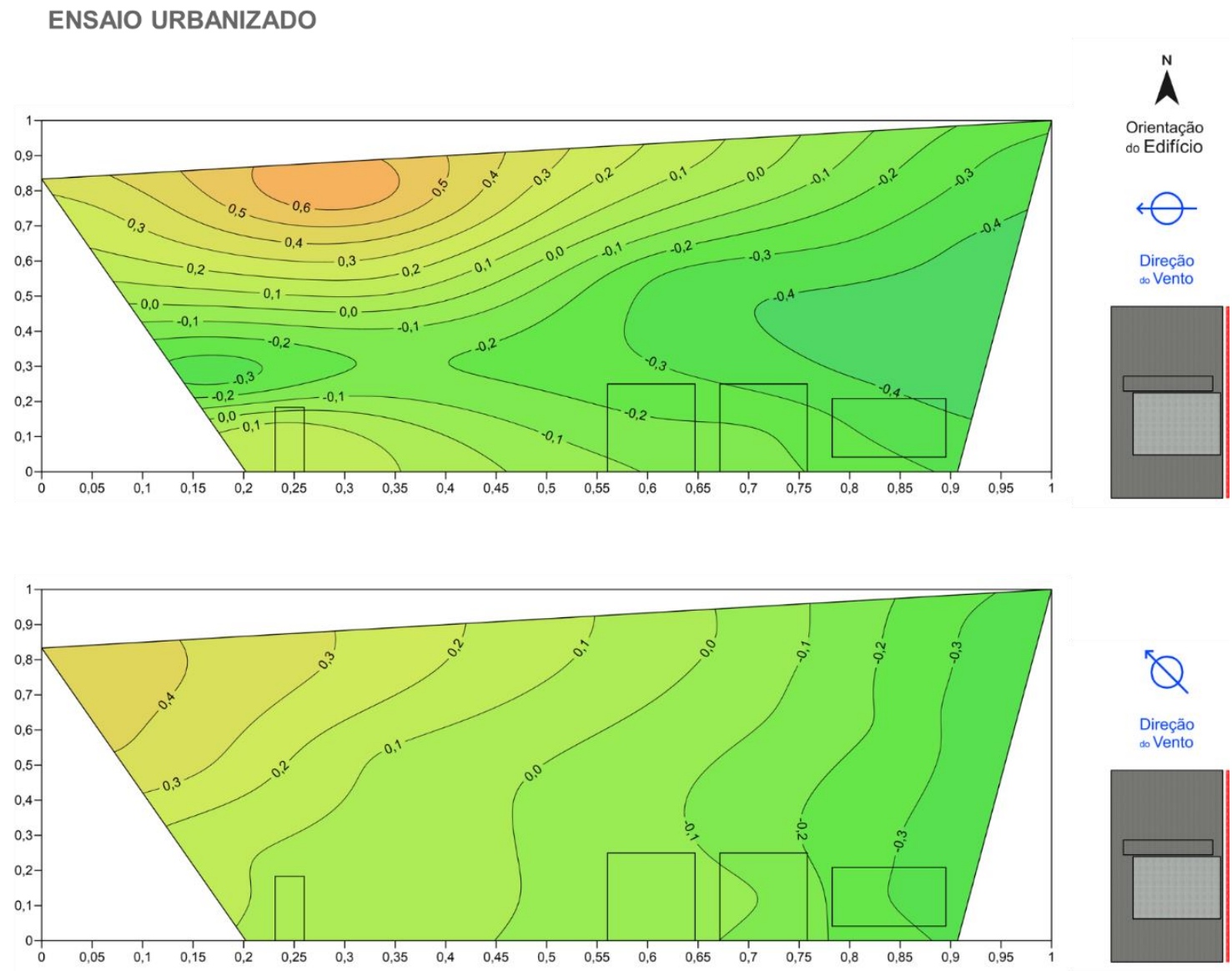


Figura B.28 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).



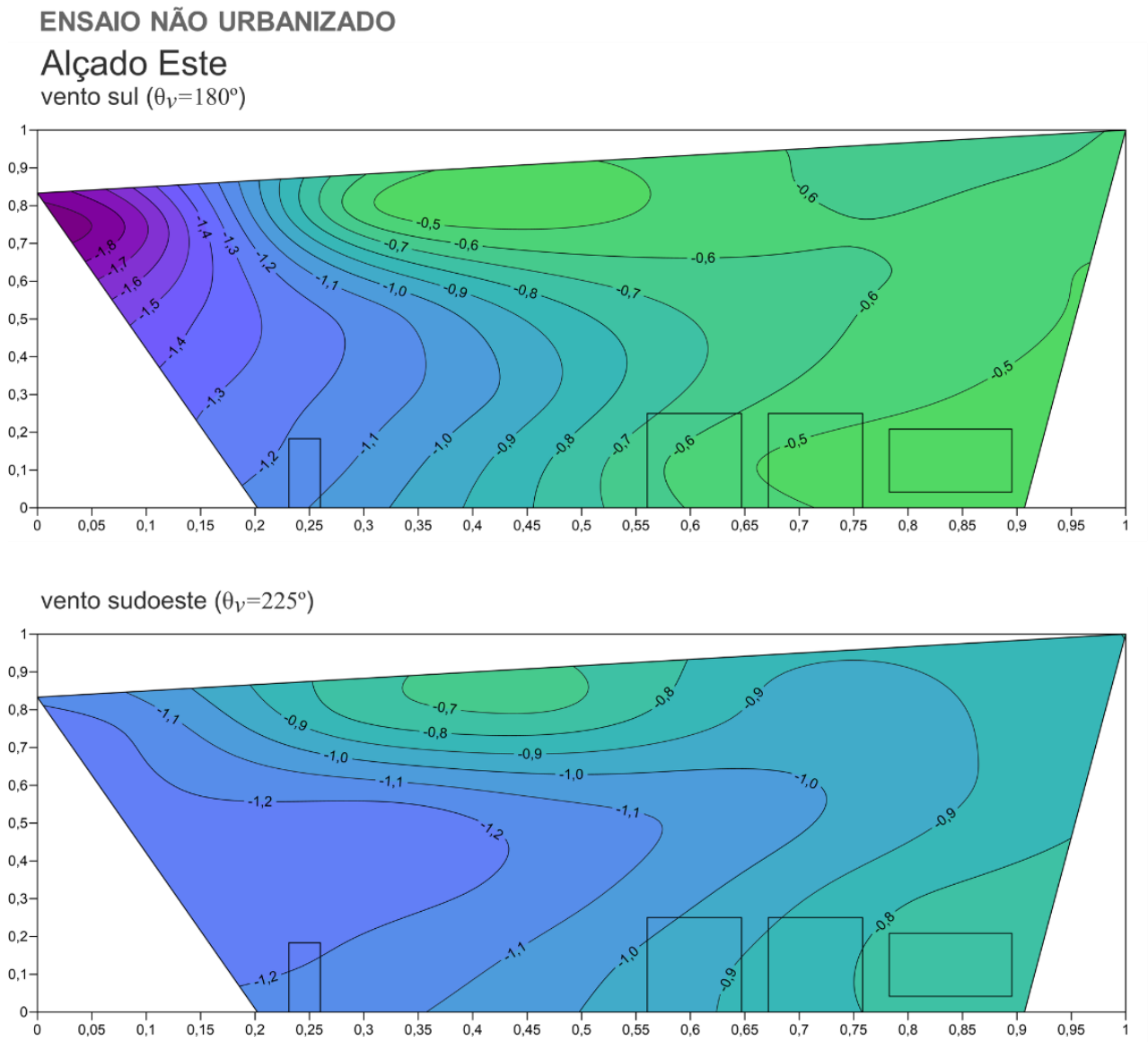
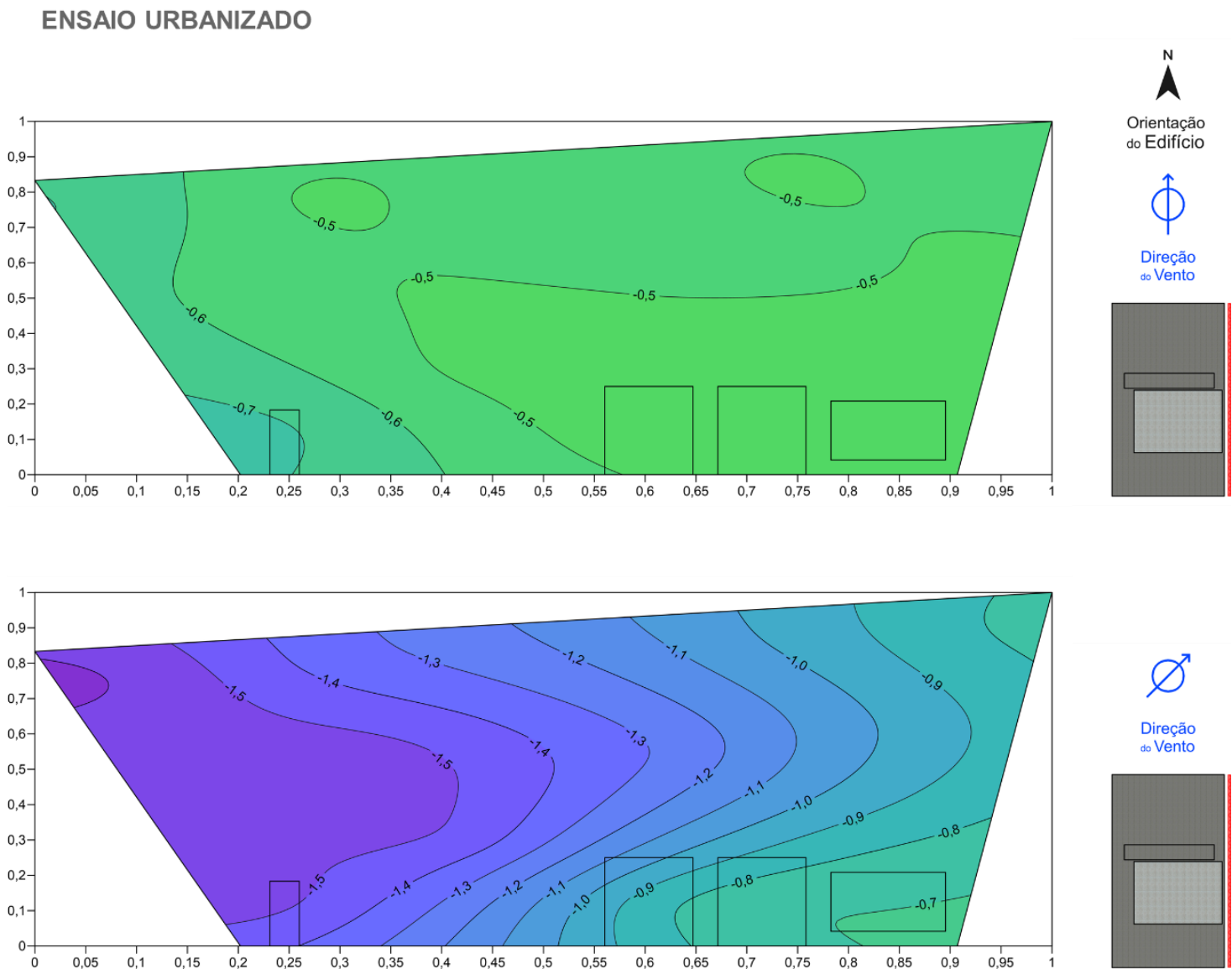


Figura B.29 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).



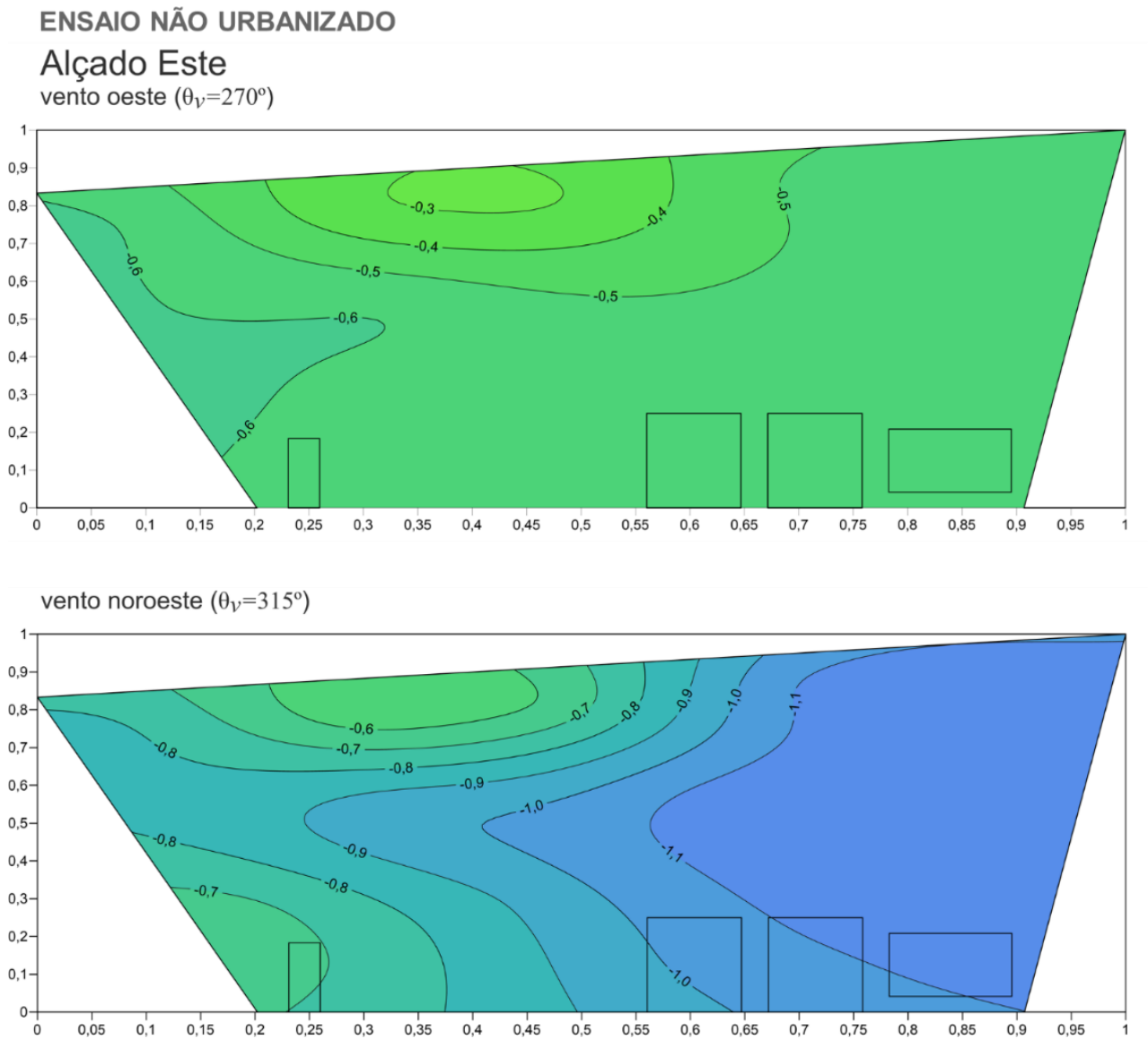
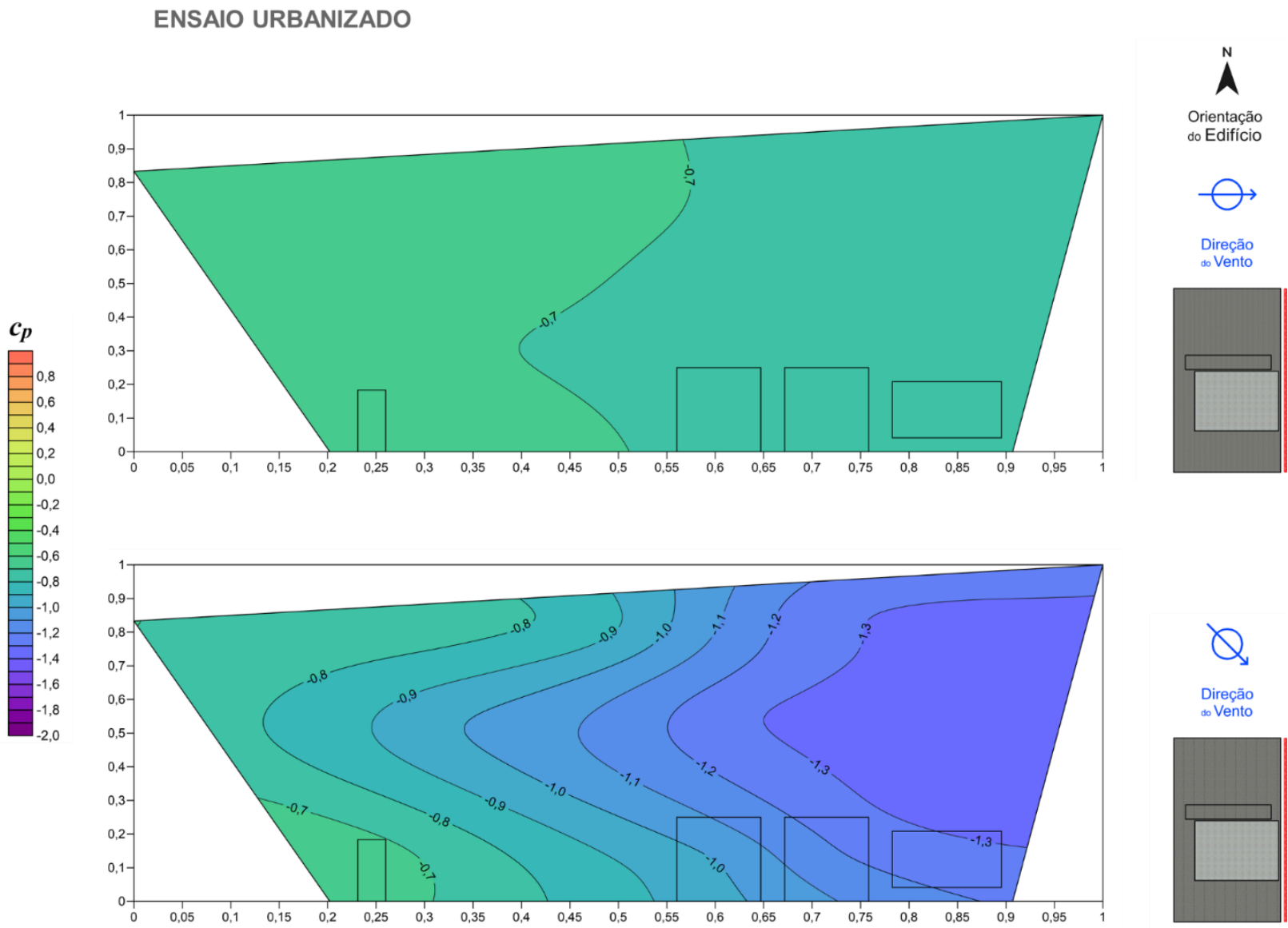


Figura B.30 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado este para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).



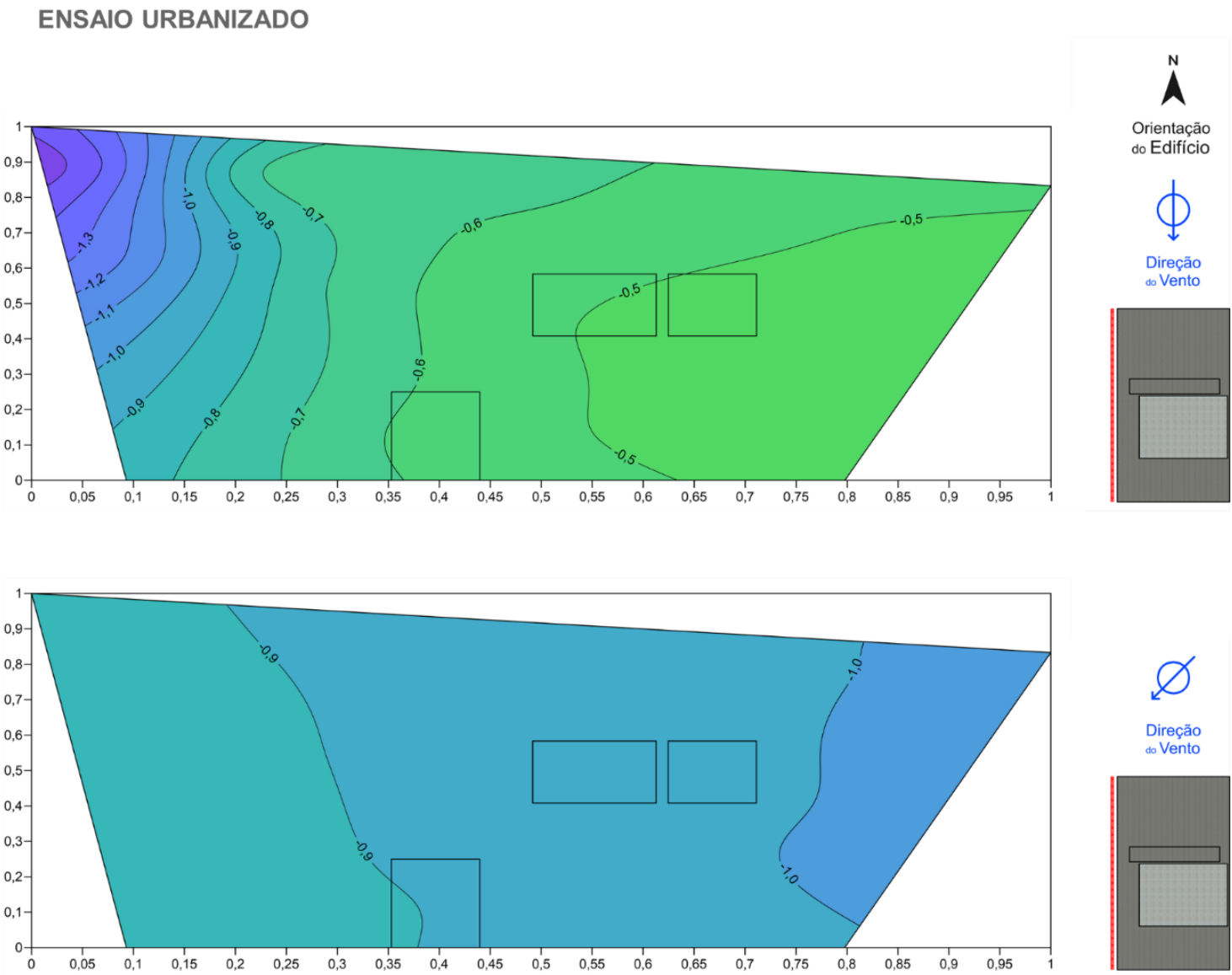
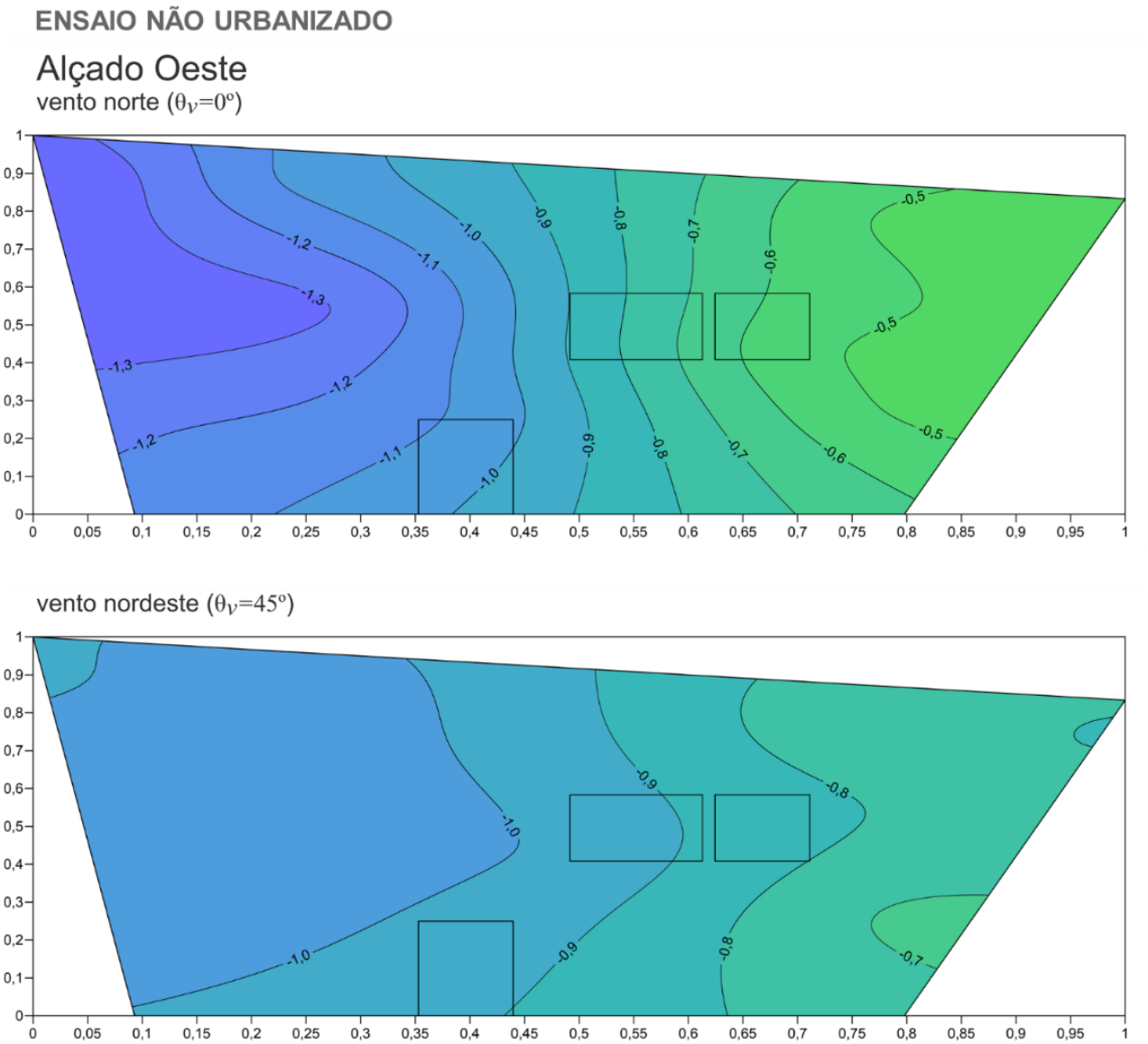


Figura B.31 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

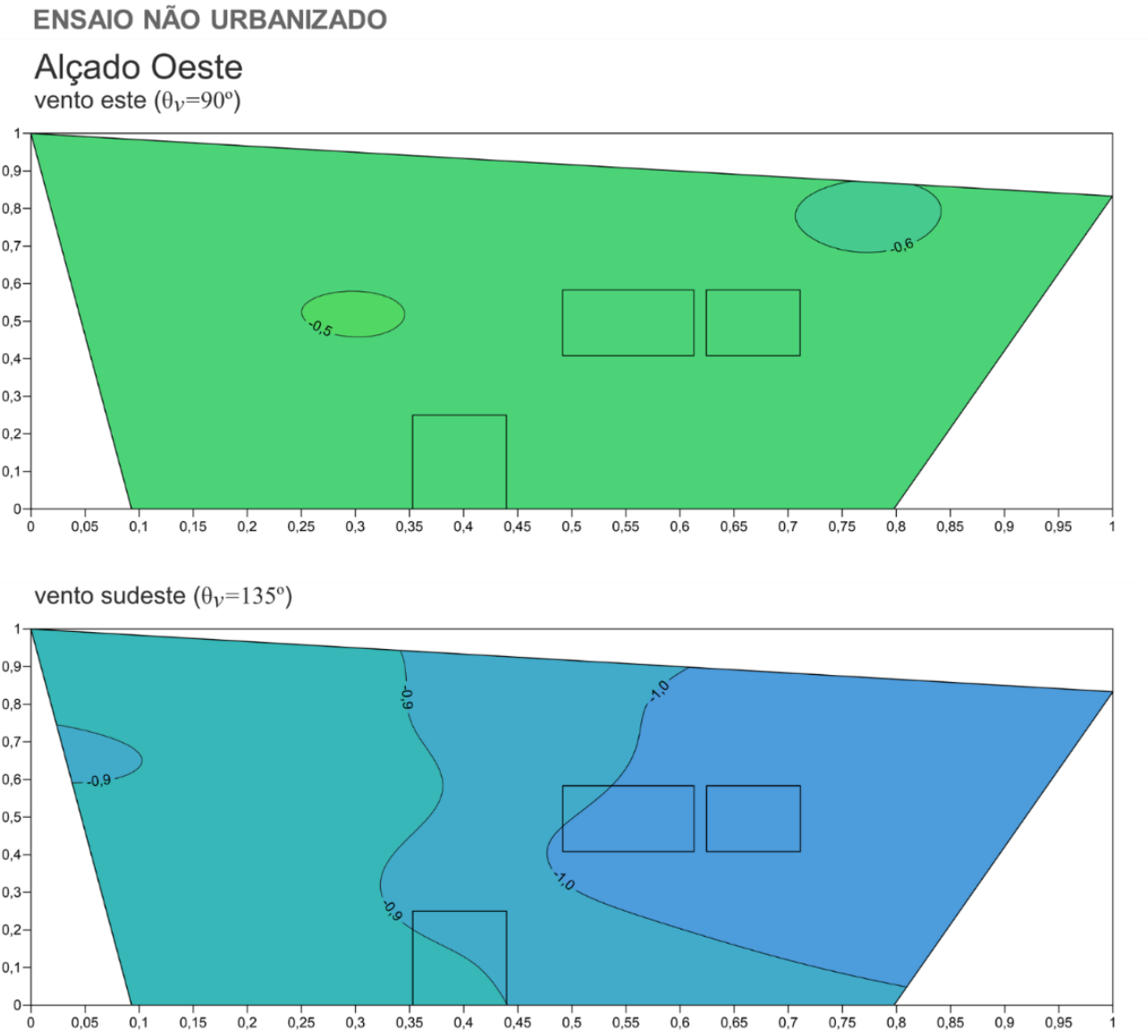
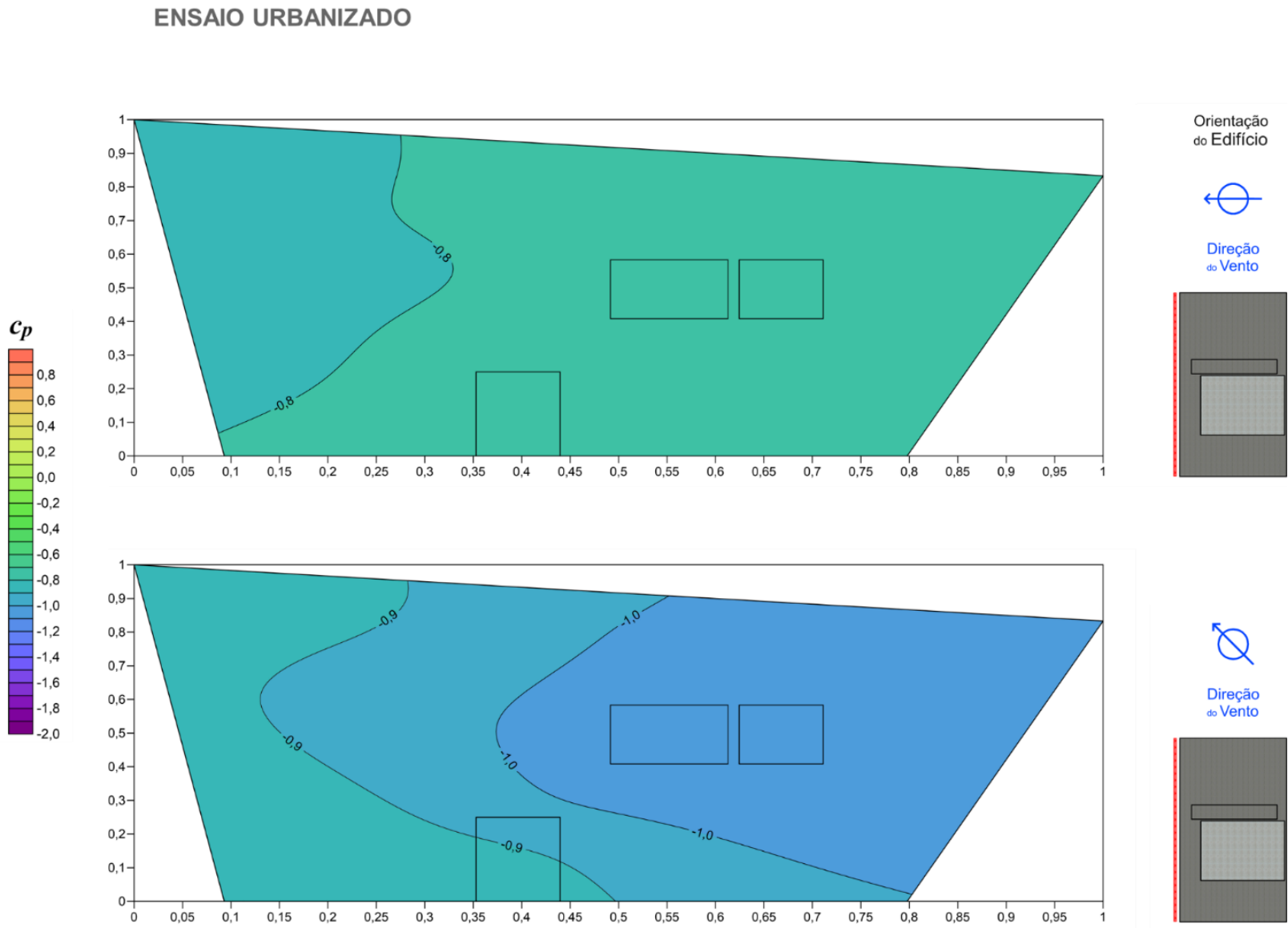


Figura B.32 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).



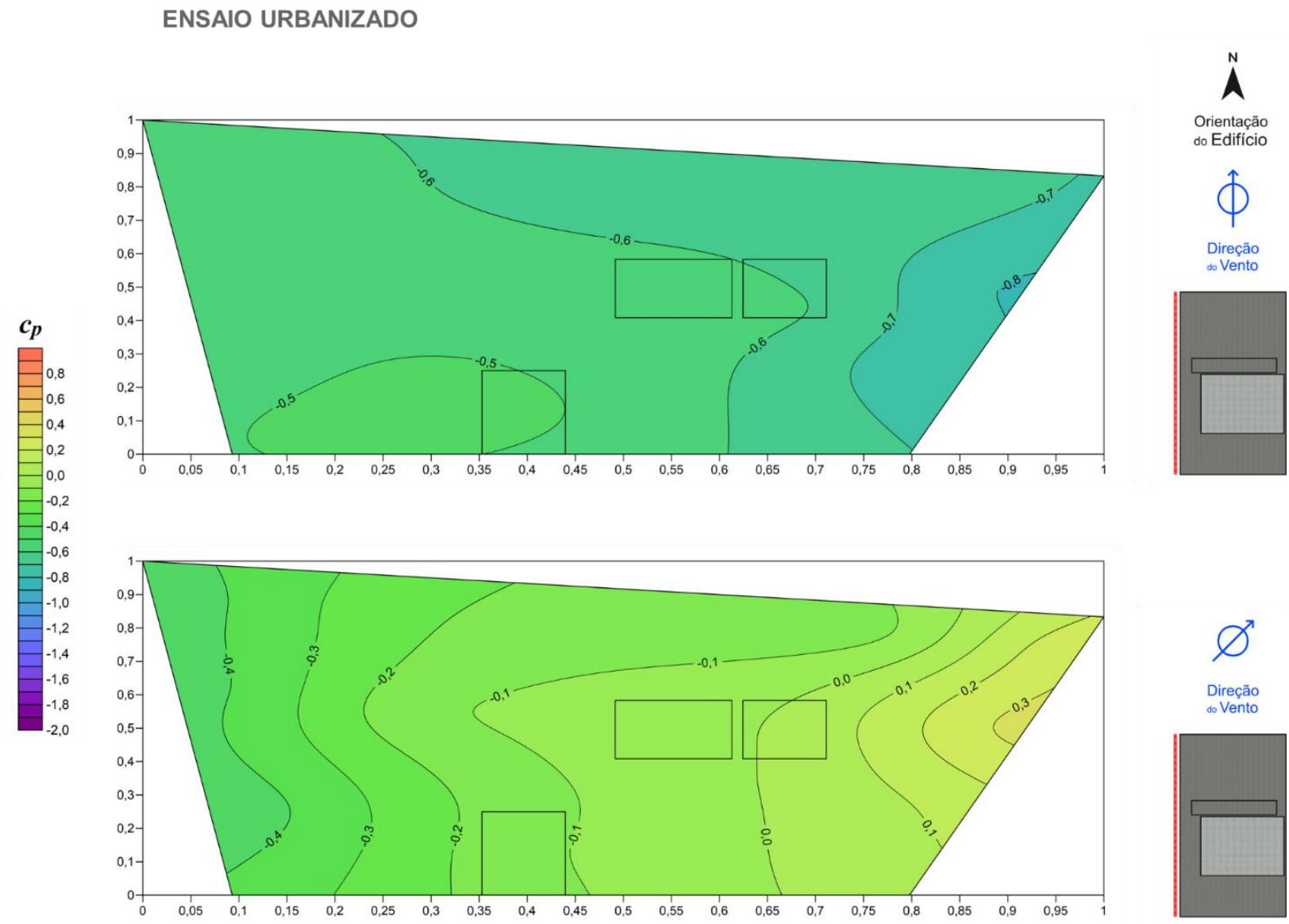
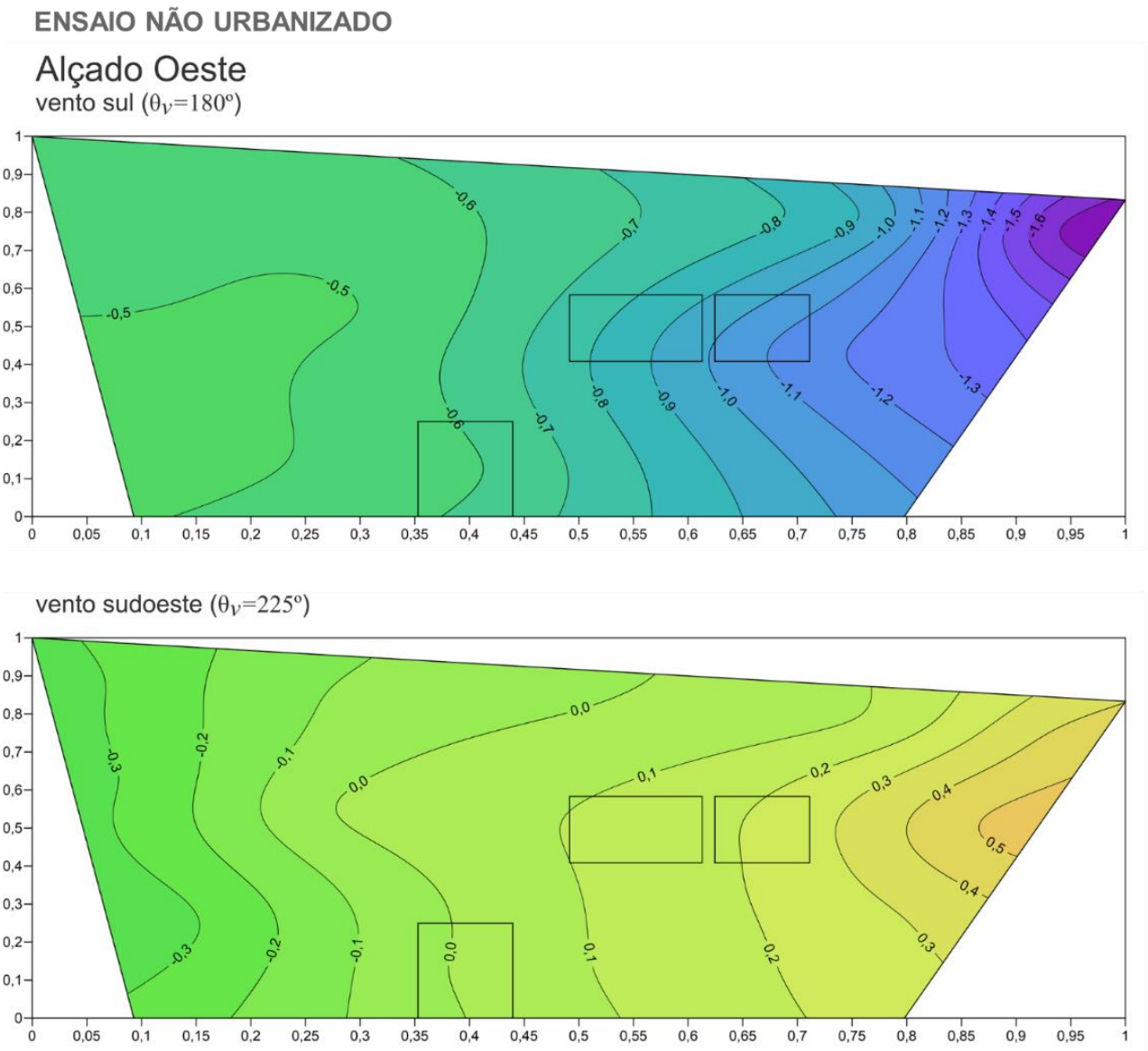


Figura B.33 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

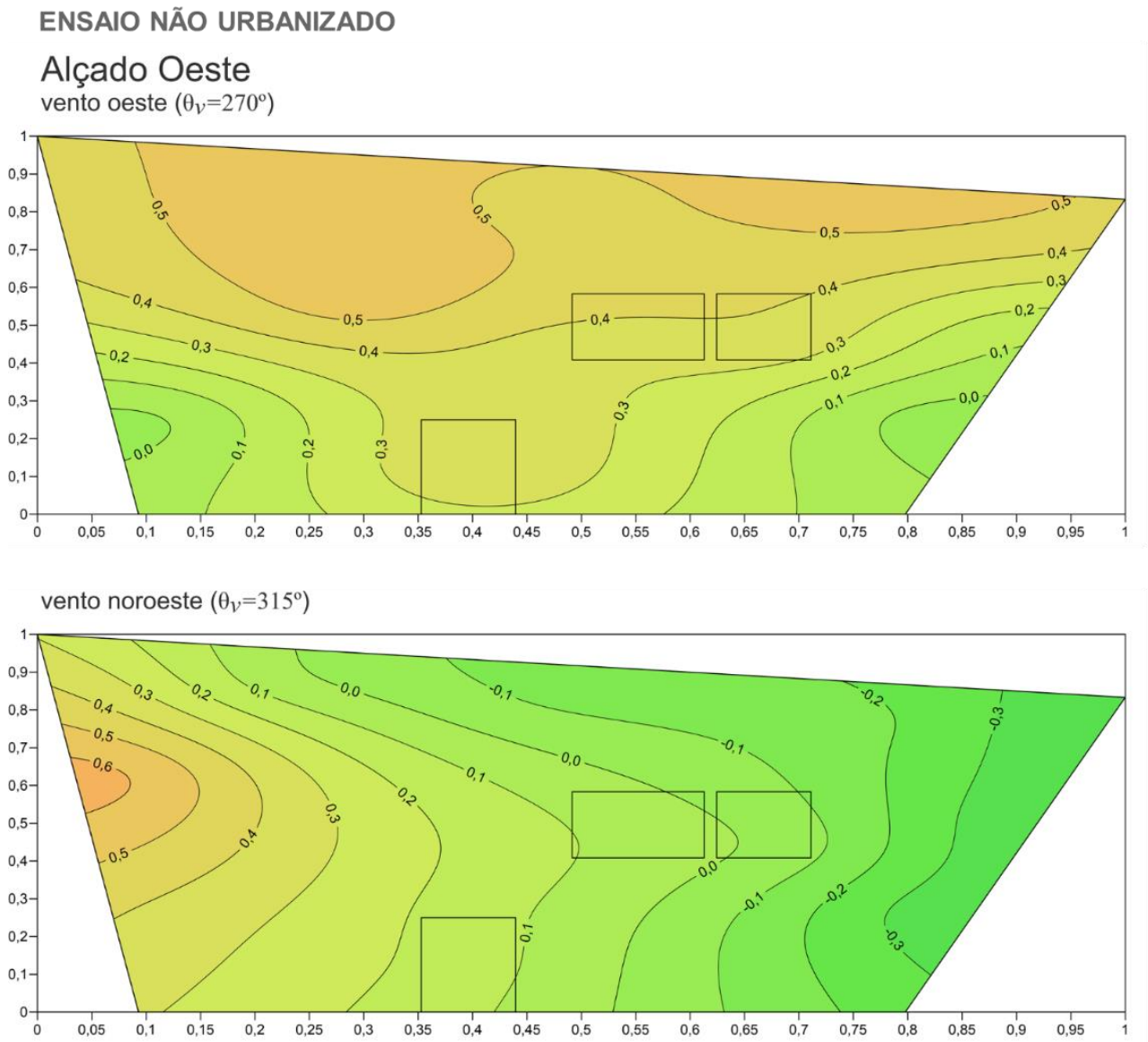
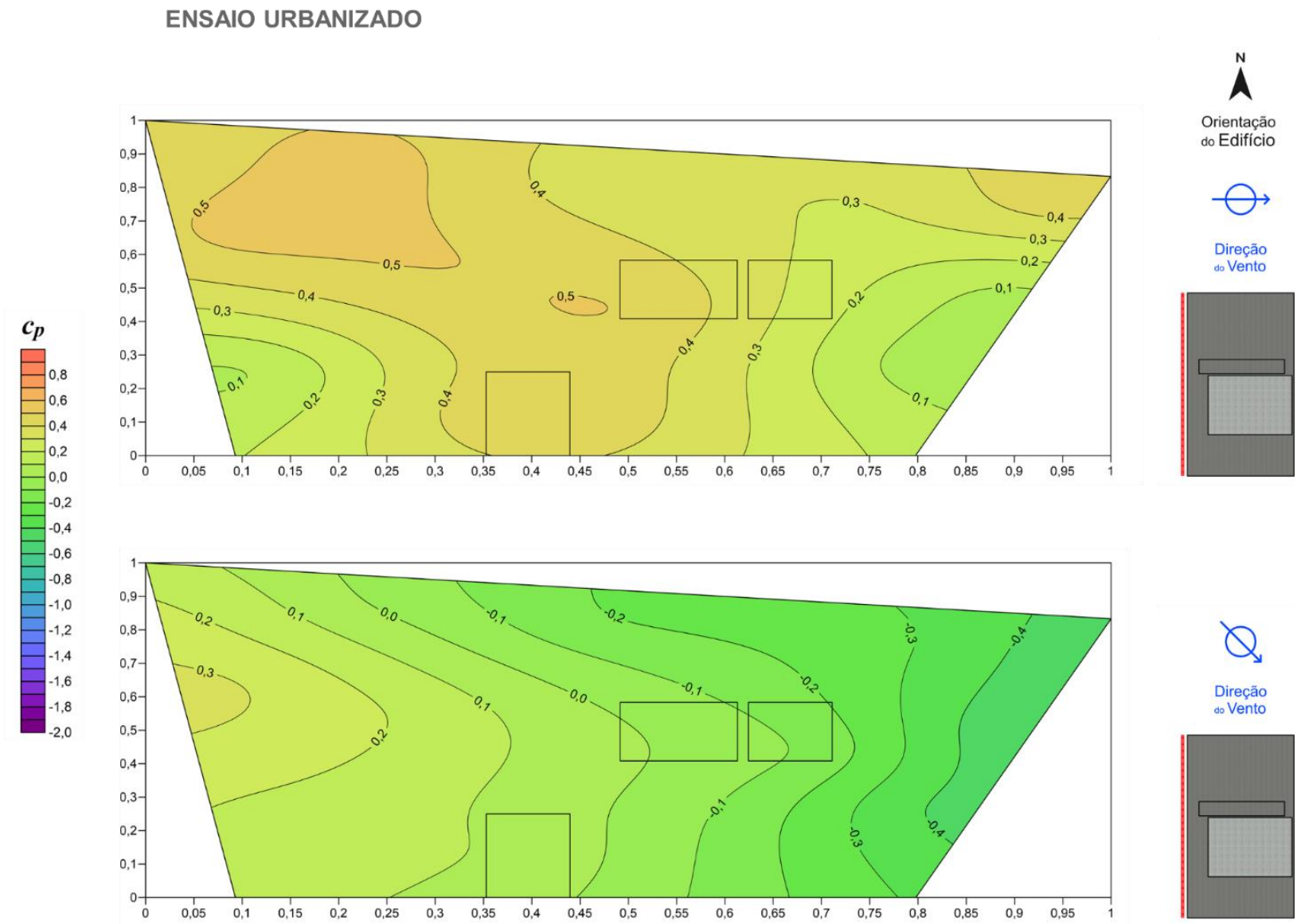


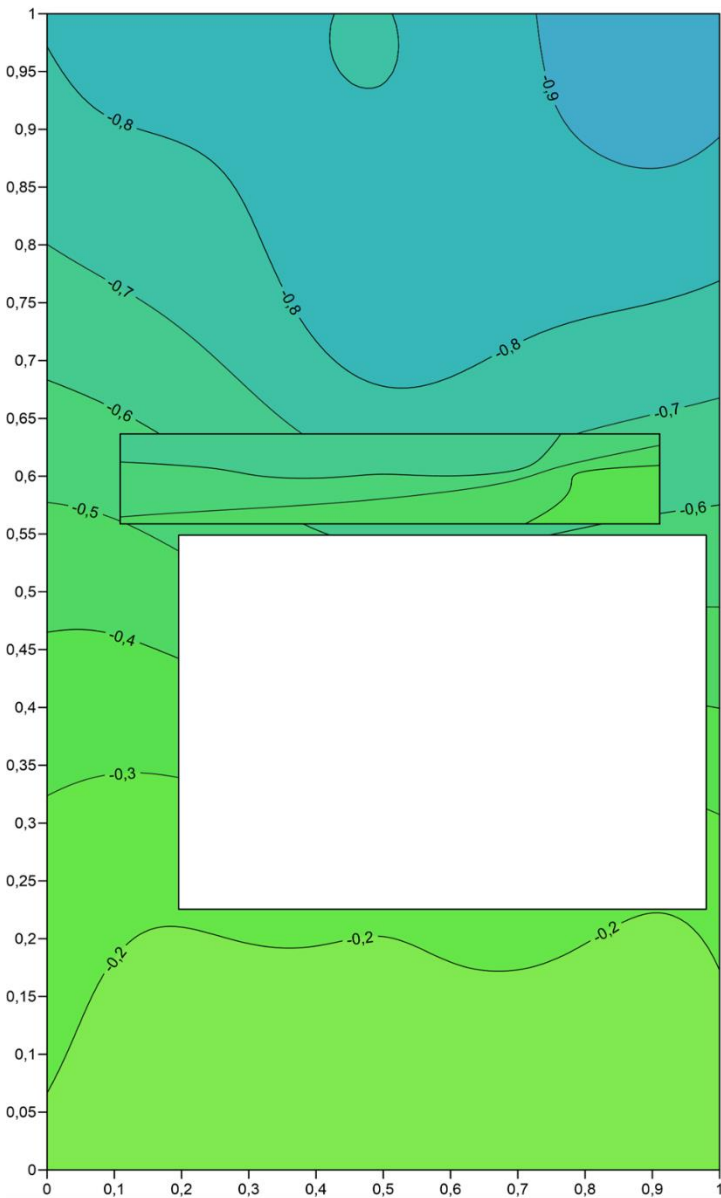
Figura B.34 – Distribuição dos coeficientes de pressão no alçado oeste para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).



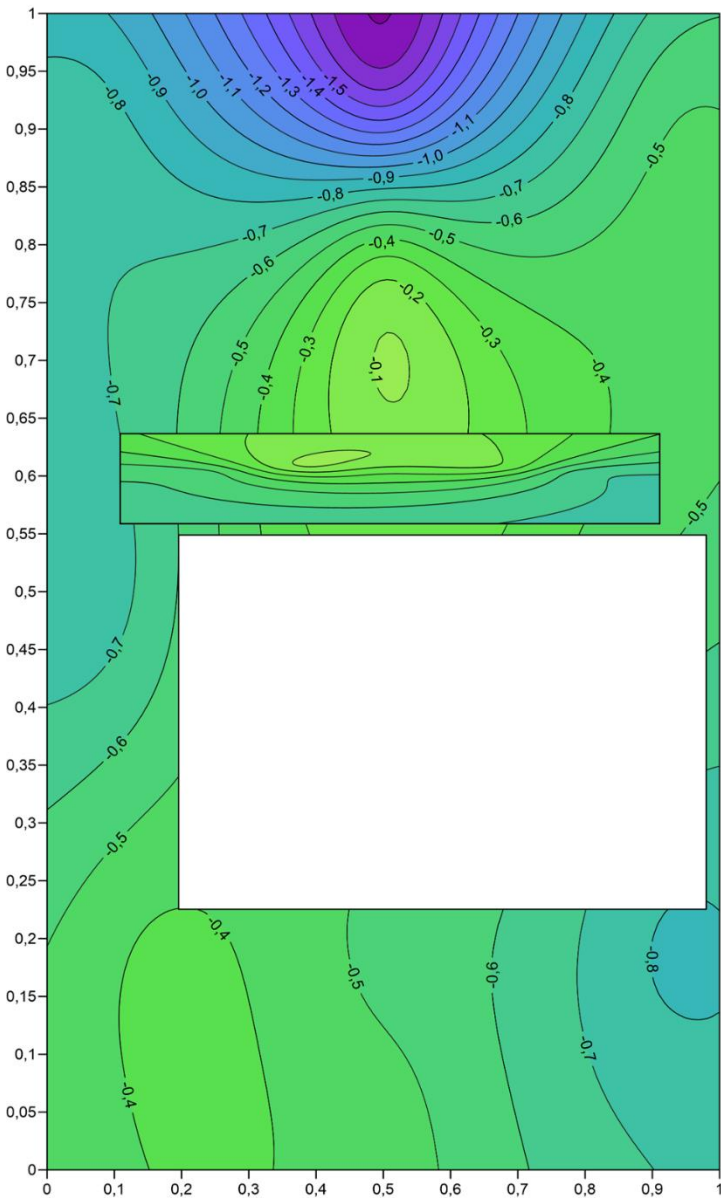
ENSAIO NÃO URBANIZADO

Cobertura

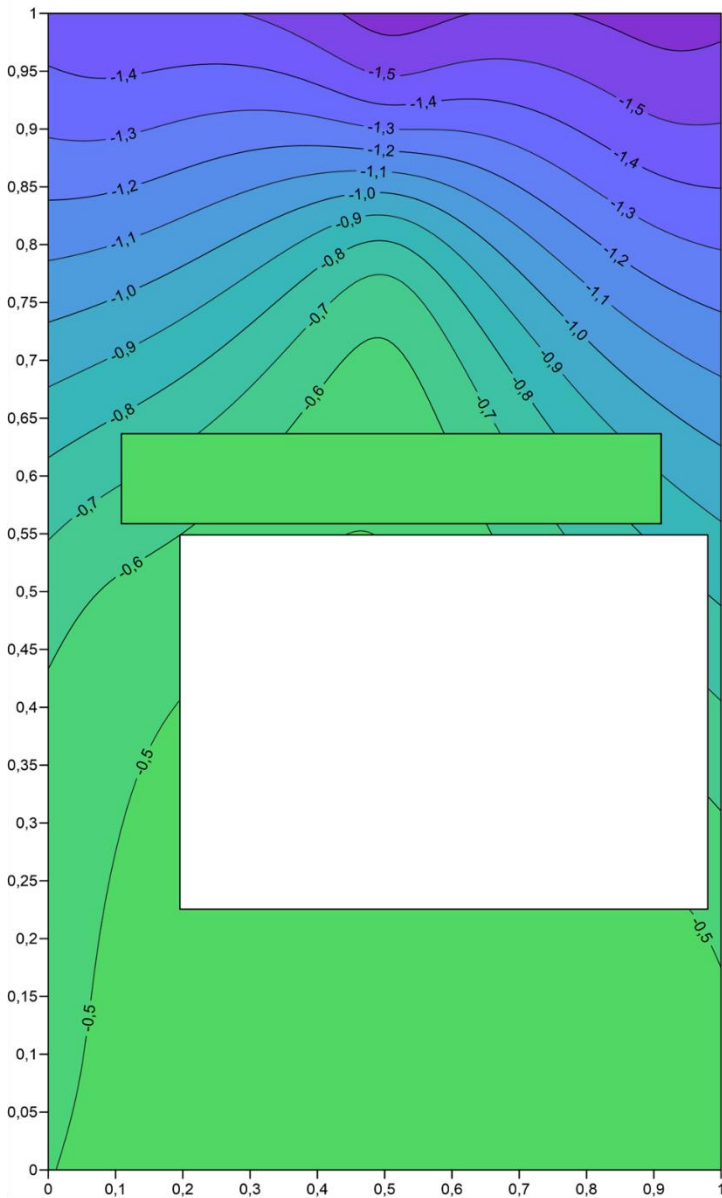
vento norte ($\theta_v=0^\circ$)



vento nordeste ($\theta_v=45^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO



vento nordeste ($\theta_v=45^\circ$)

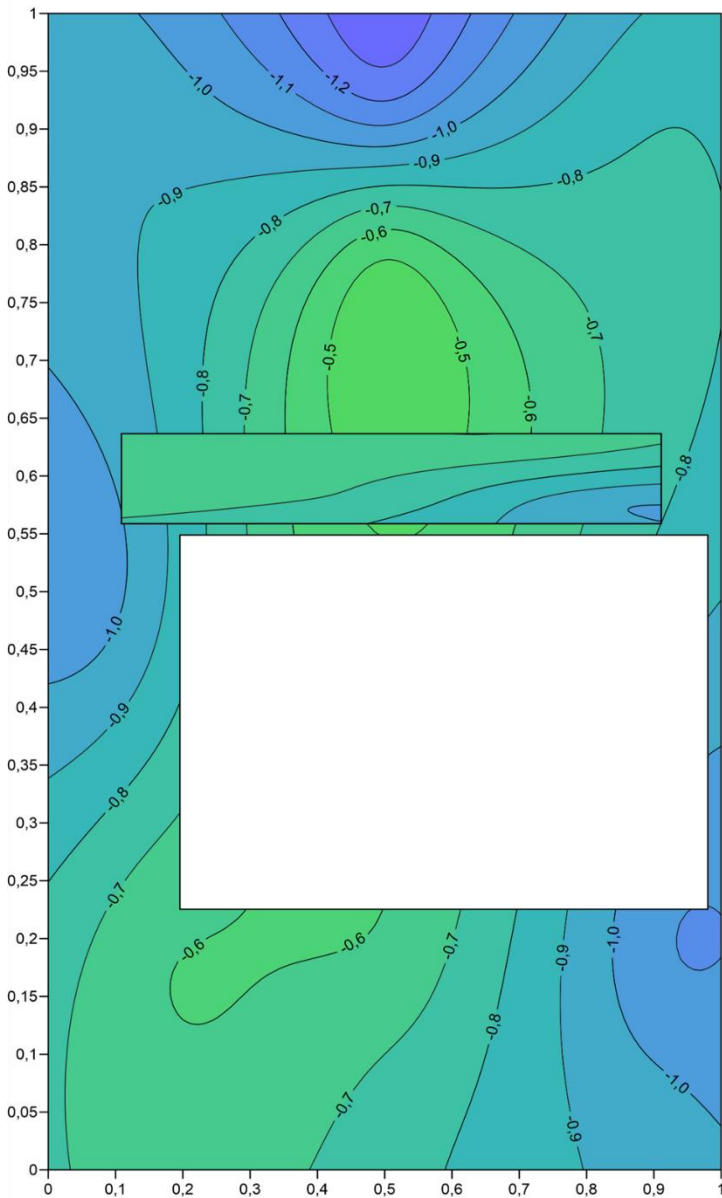
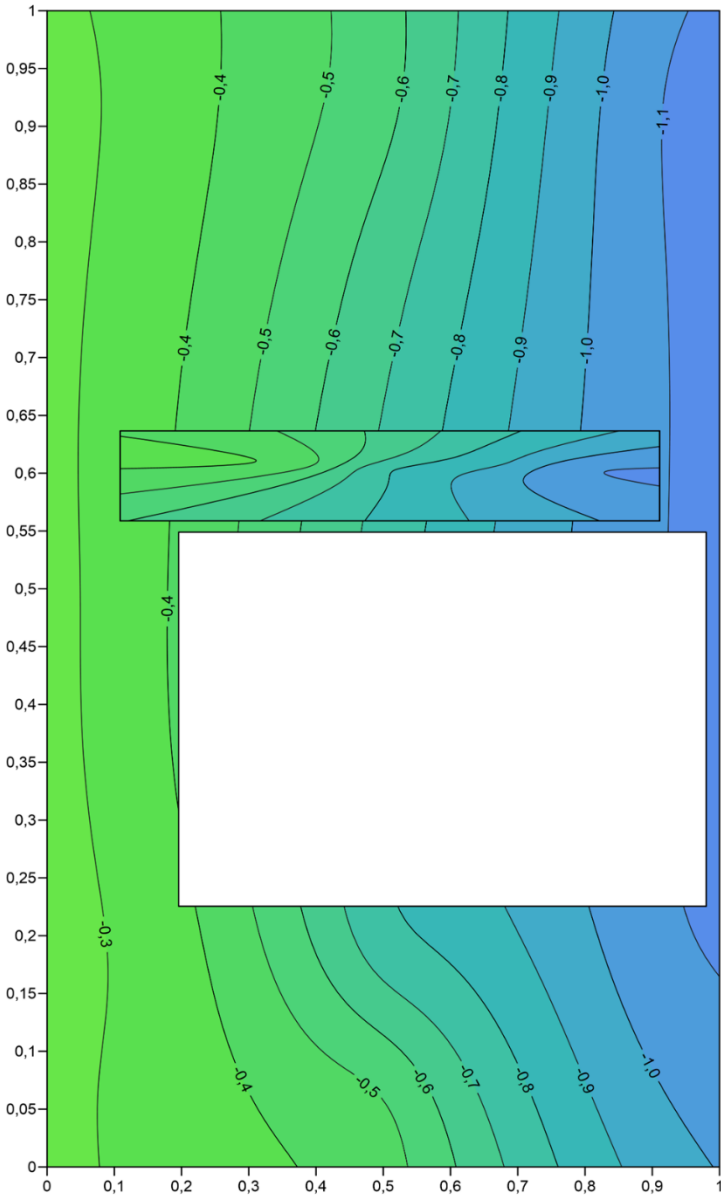


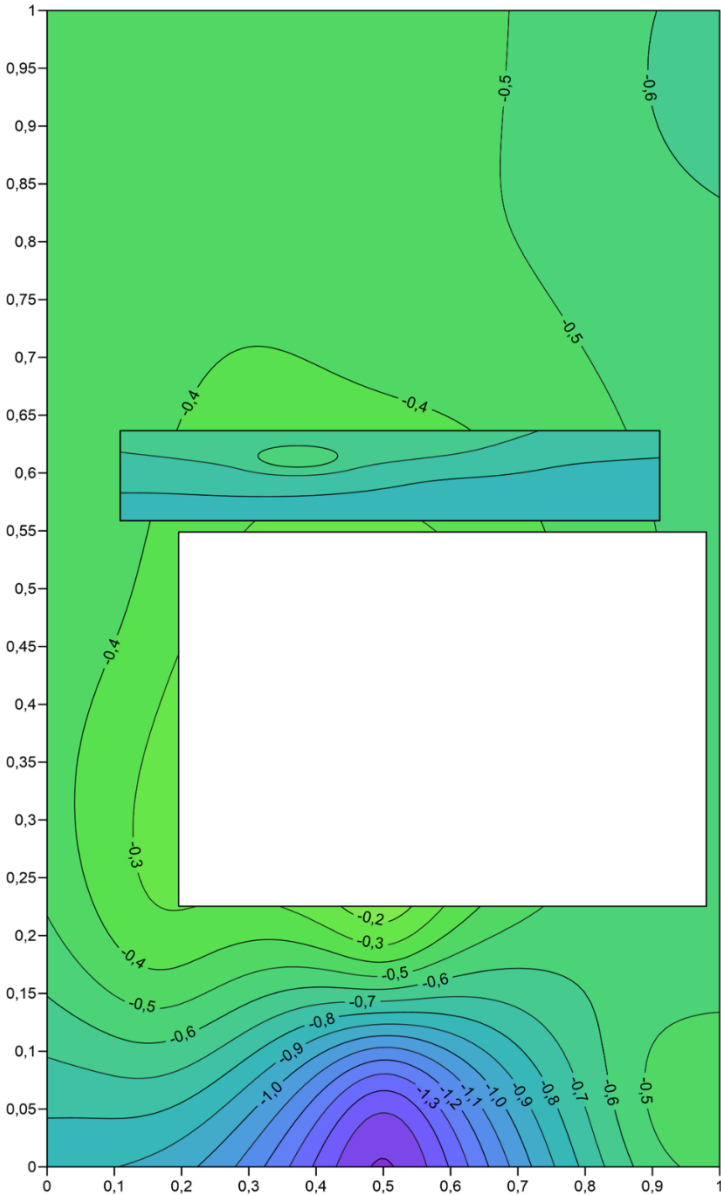
Figura B.35 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

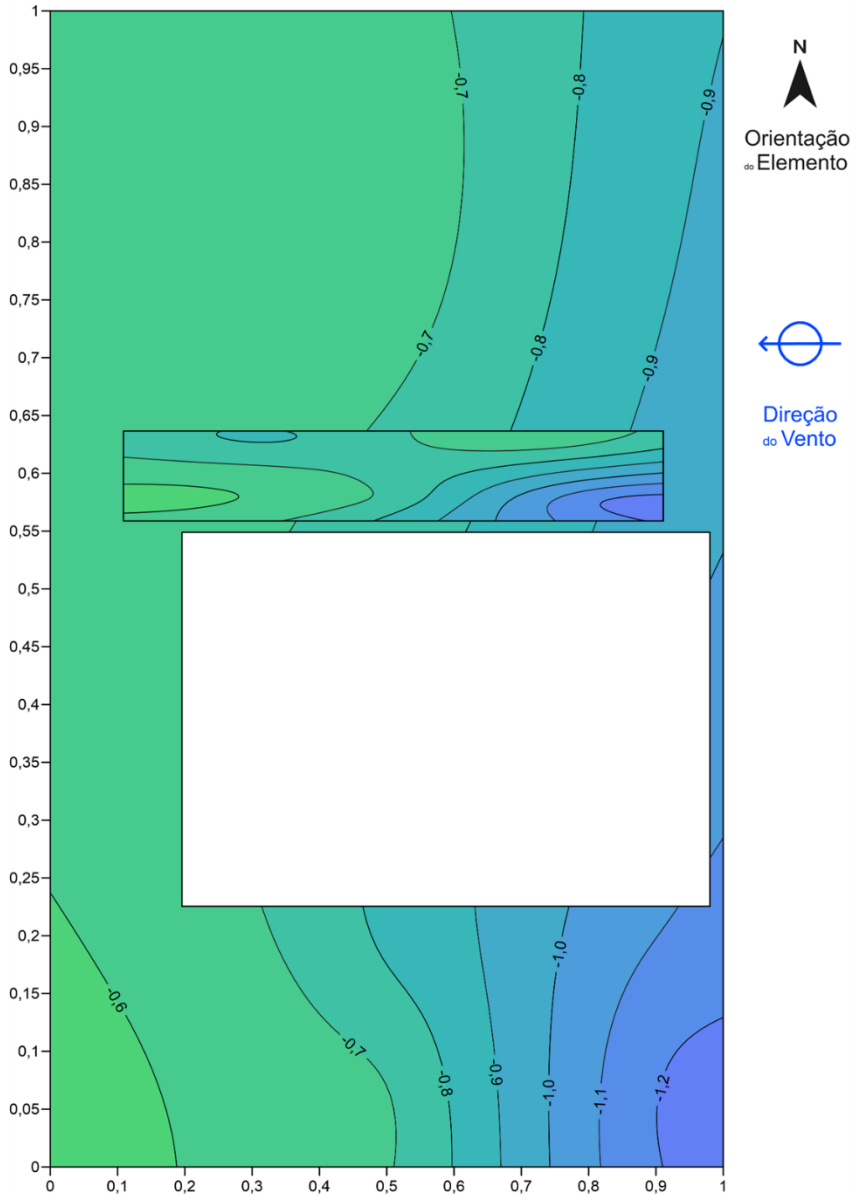
Cobertura
vento este ($\theta_v=90^\circ$)



vento sudeste ($\theta_v=135^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO



vento sudeste ($\theta_v=135^\circ$)

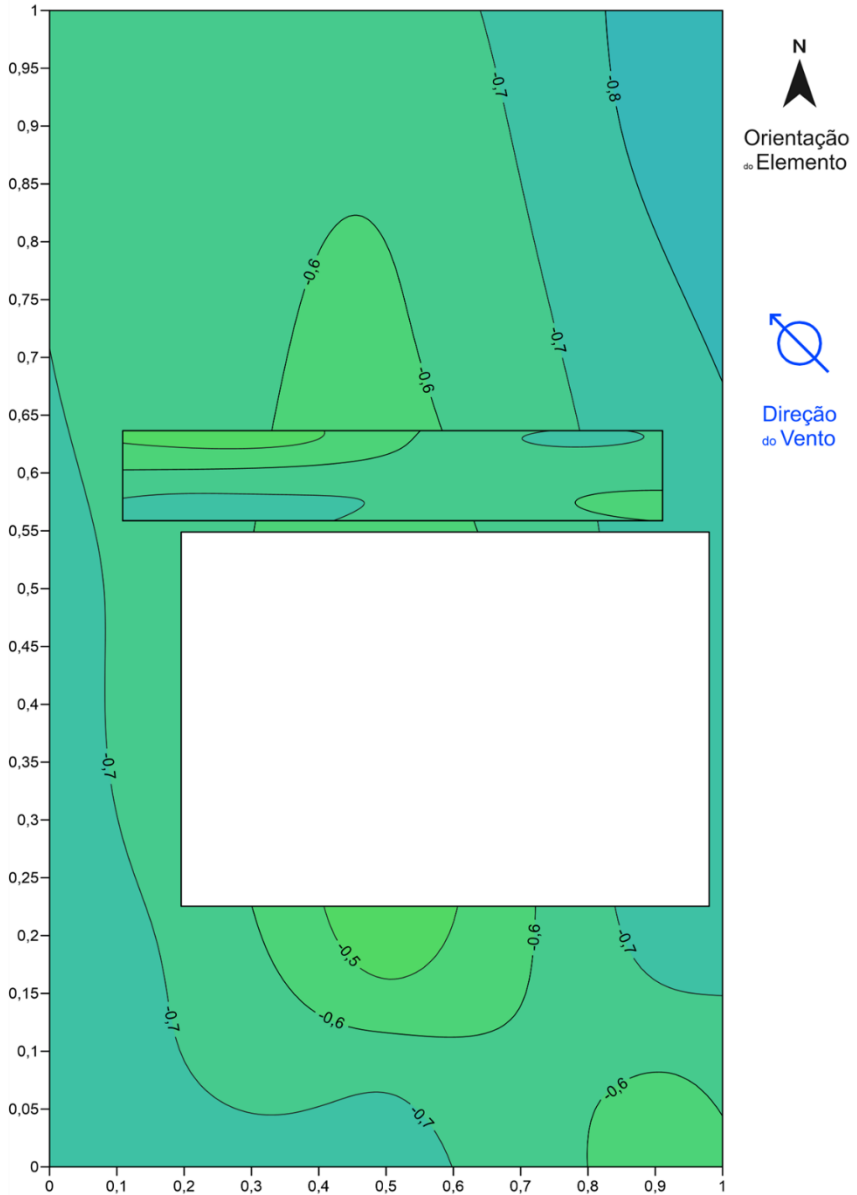
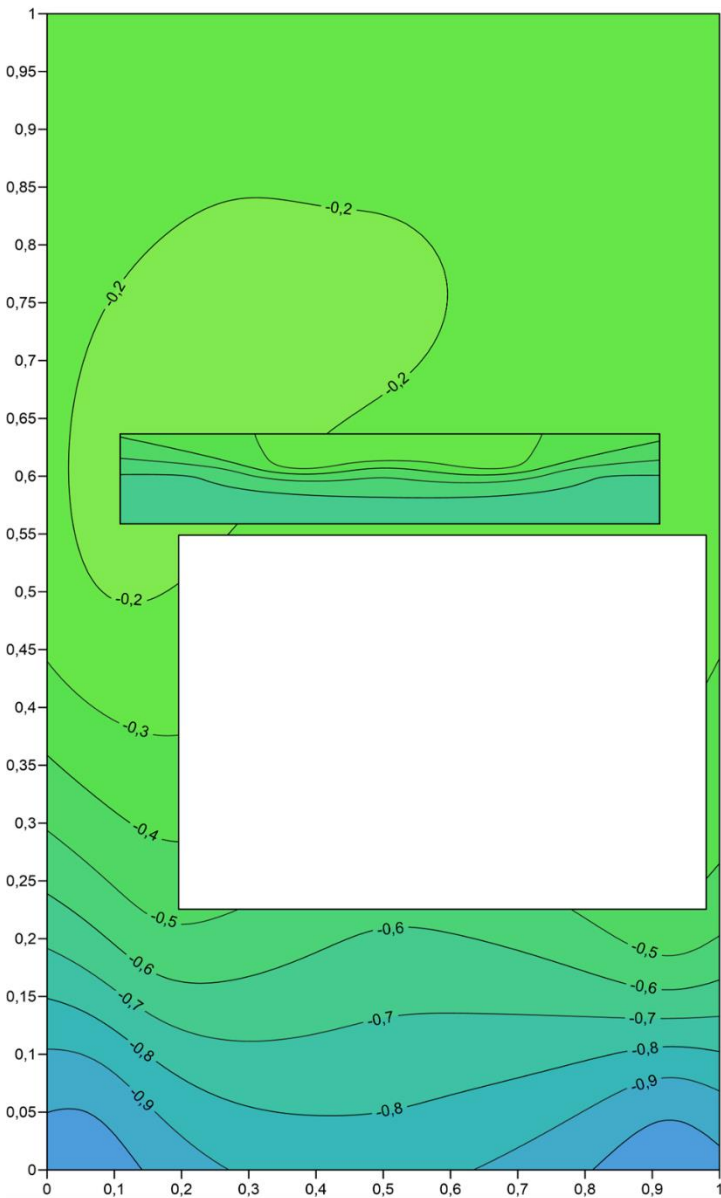


Figura B.36 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).

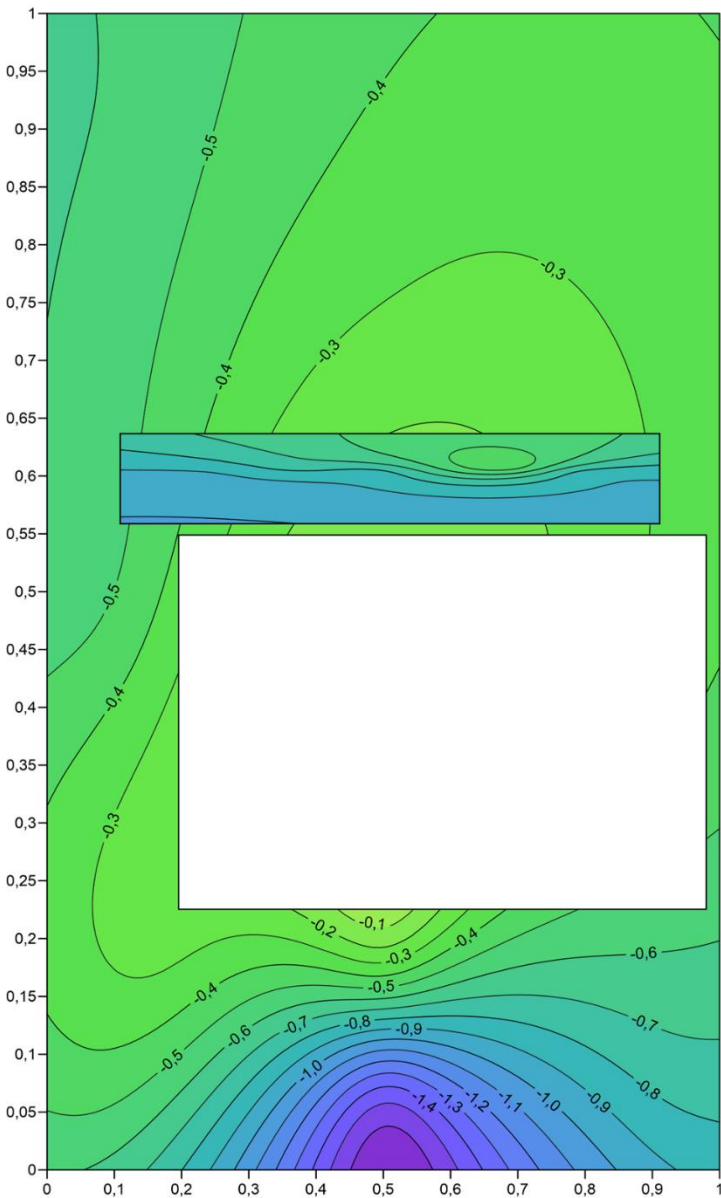
ENSAIO NÃO URBANIZADO

Cobertura

vento sul ($\theta_v=180^\circ$)



vento sudoeste ($\theta_v=225^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO

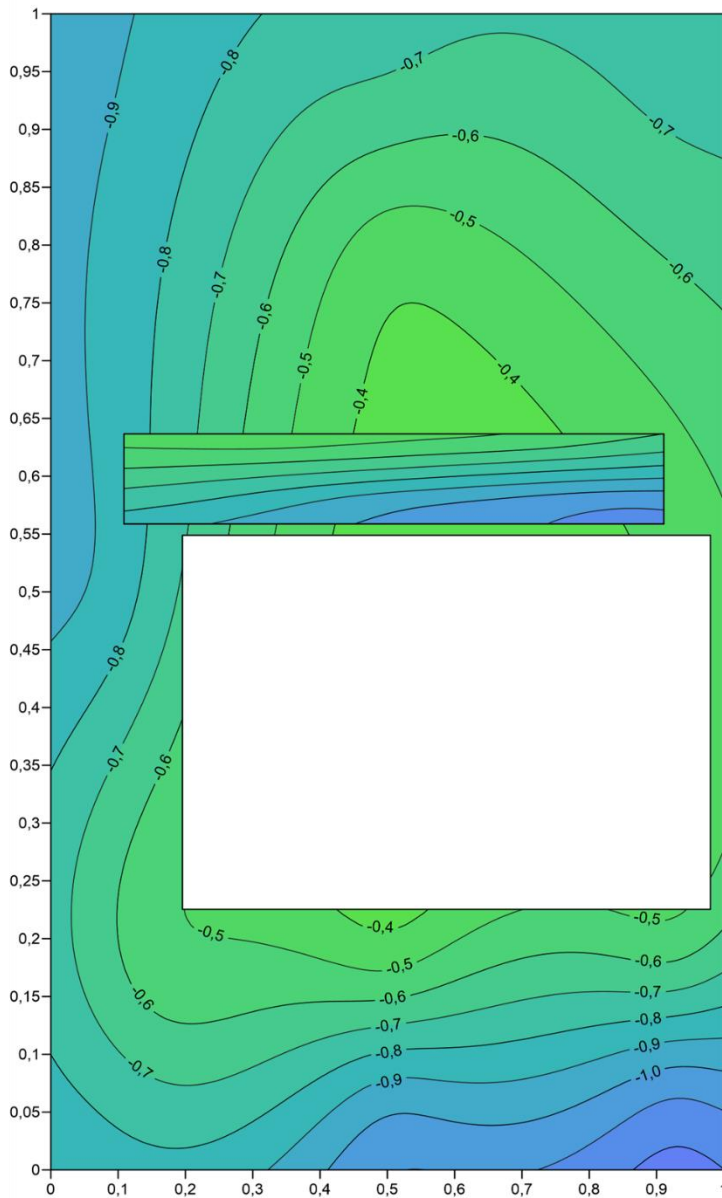
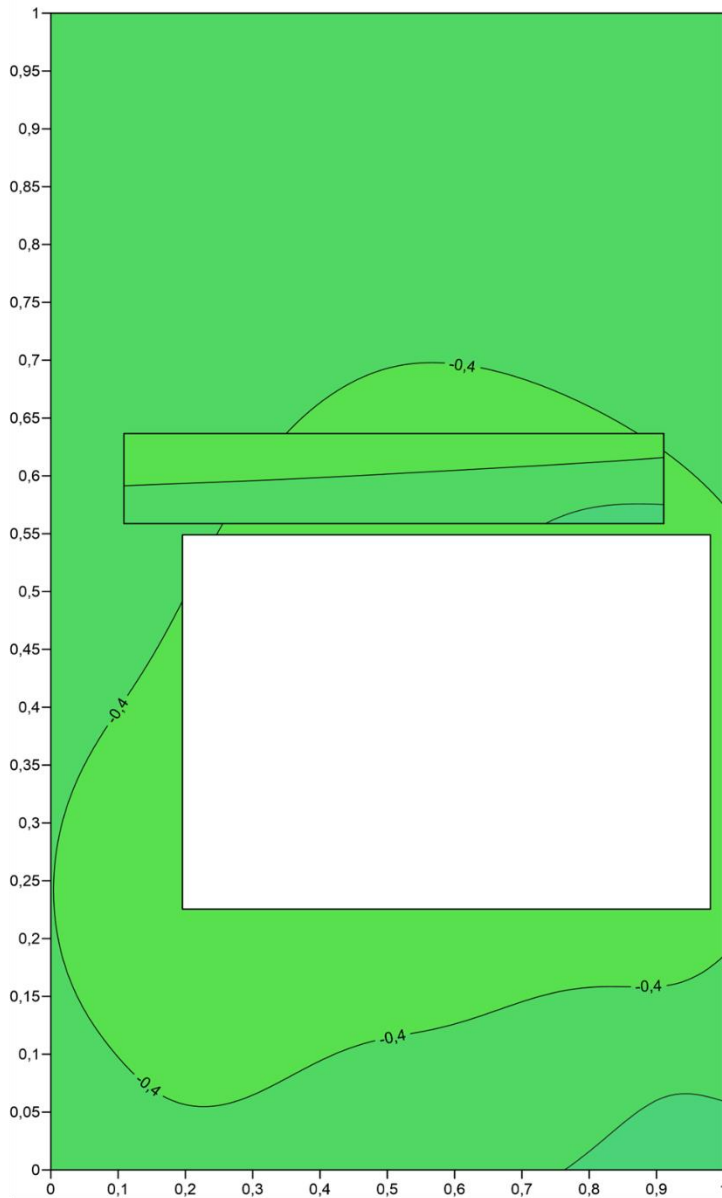
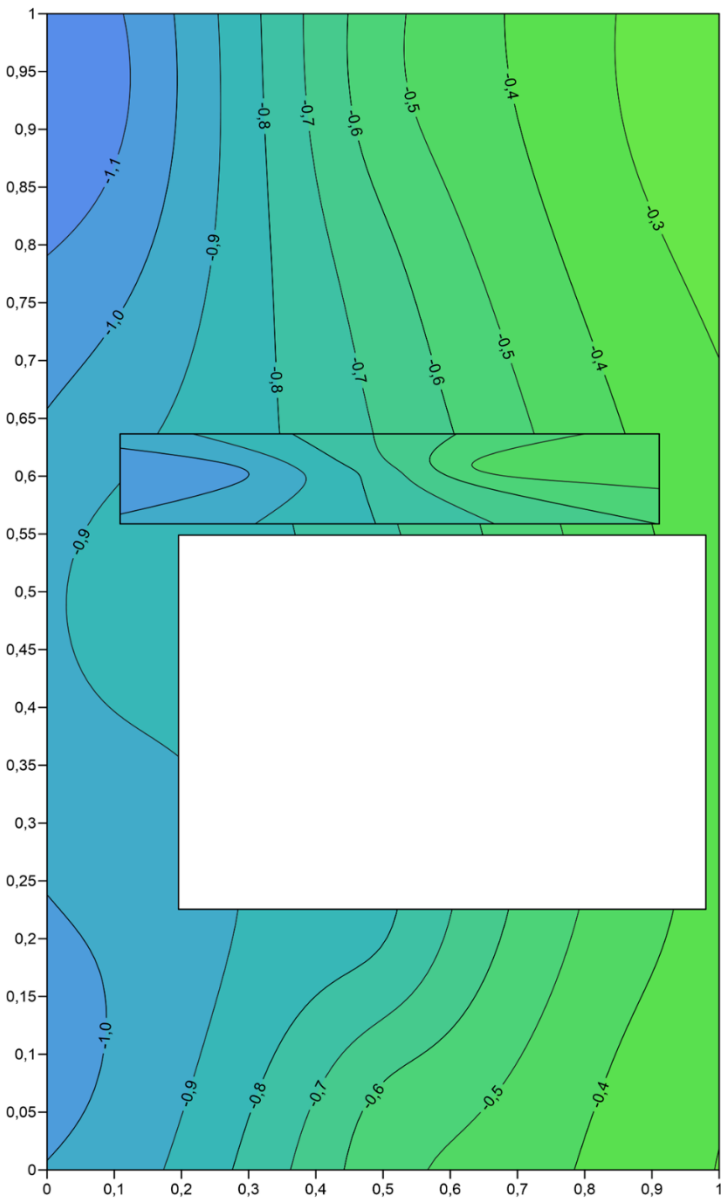


Figura B.37 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

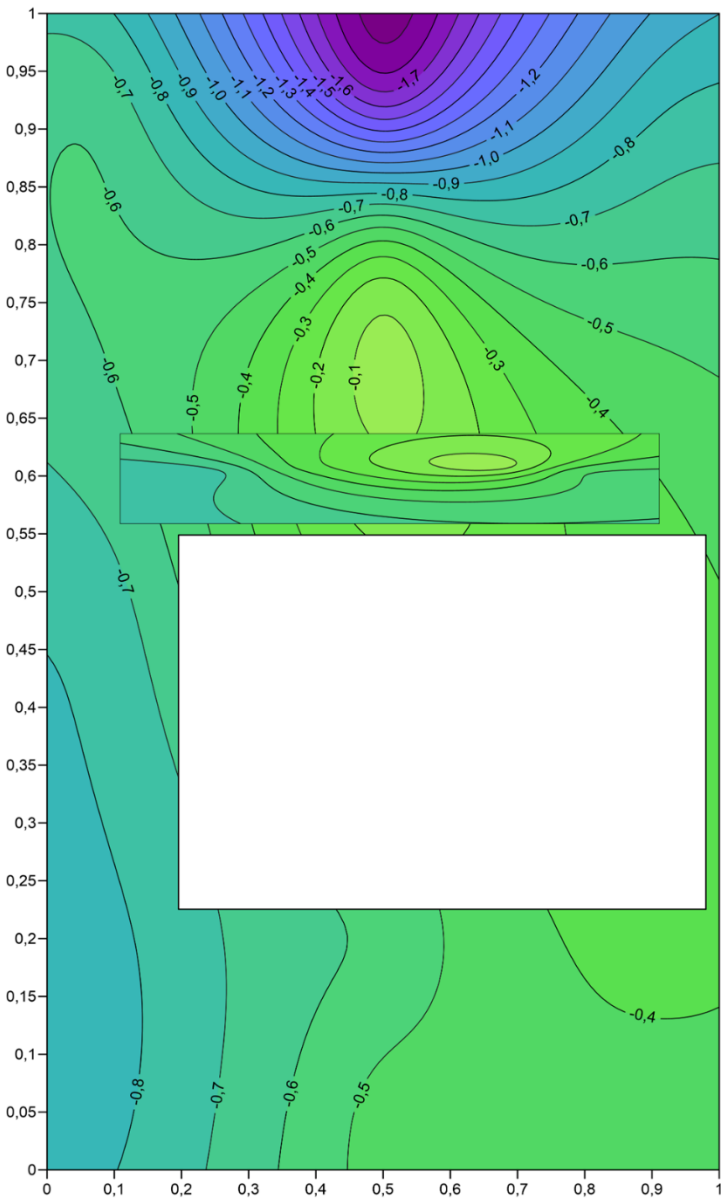
ENSAIO NÃO URBANIZADO

Cobertura

vento oeste ($\theta_v=270^\circ$)



vento noroeste ($\theta_v=315^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO

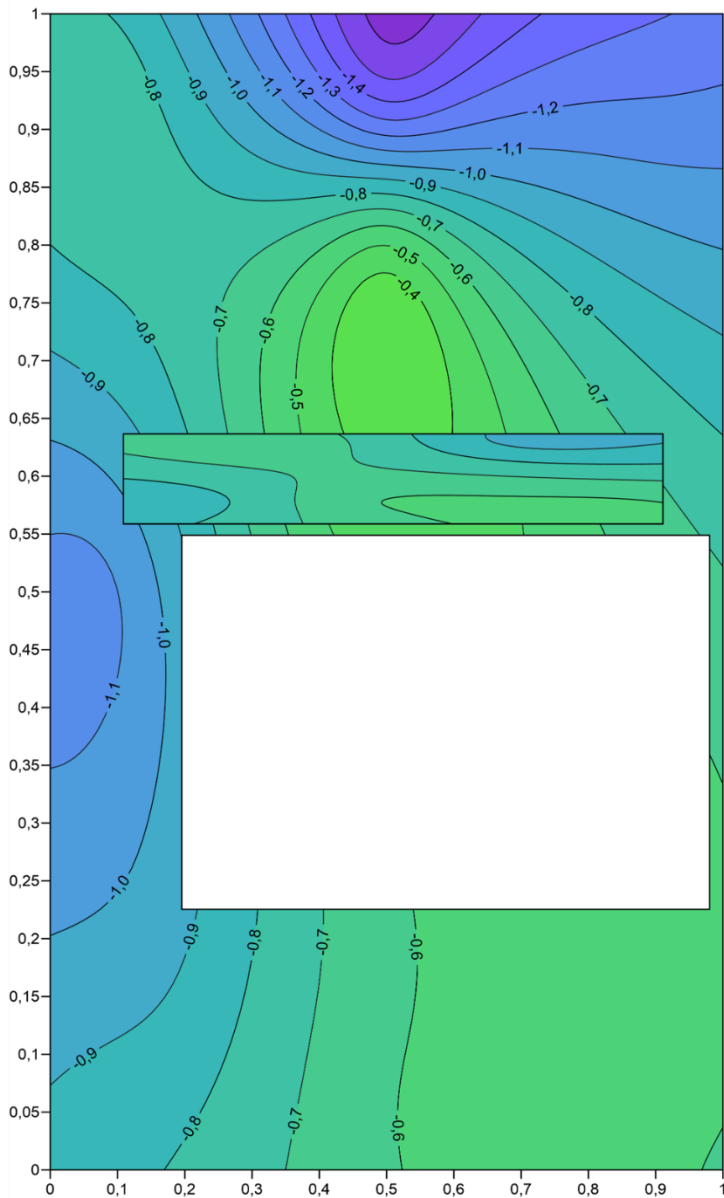
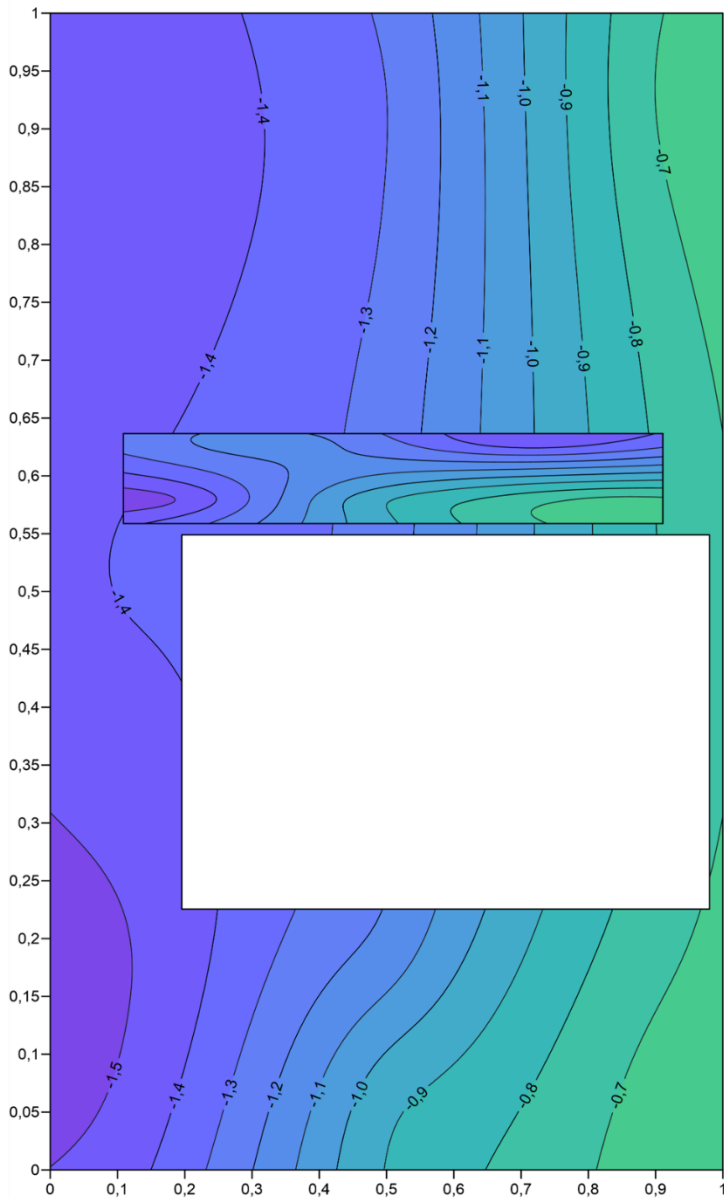


Figura B.38 – Distribuição dos coeficientes de pressão na cobertura para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).

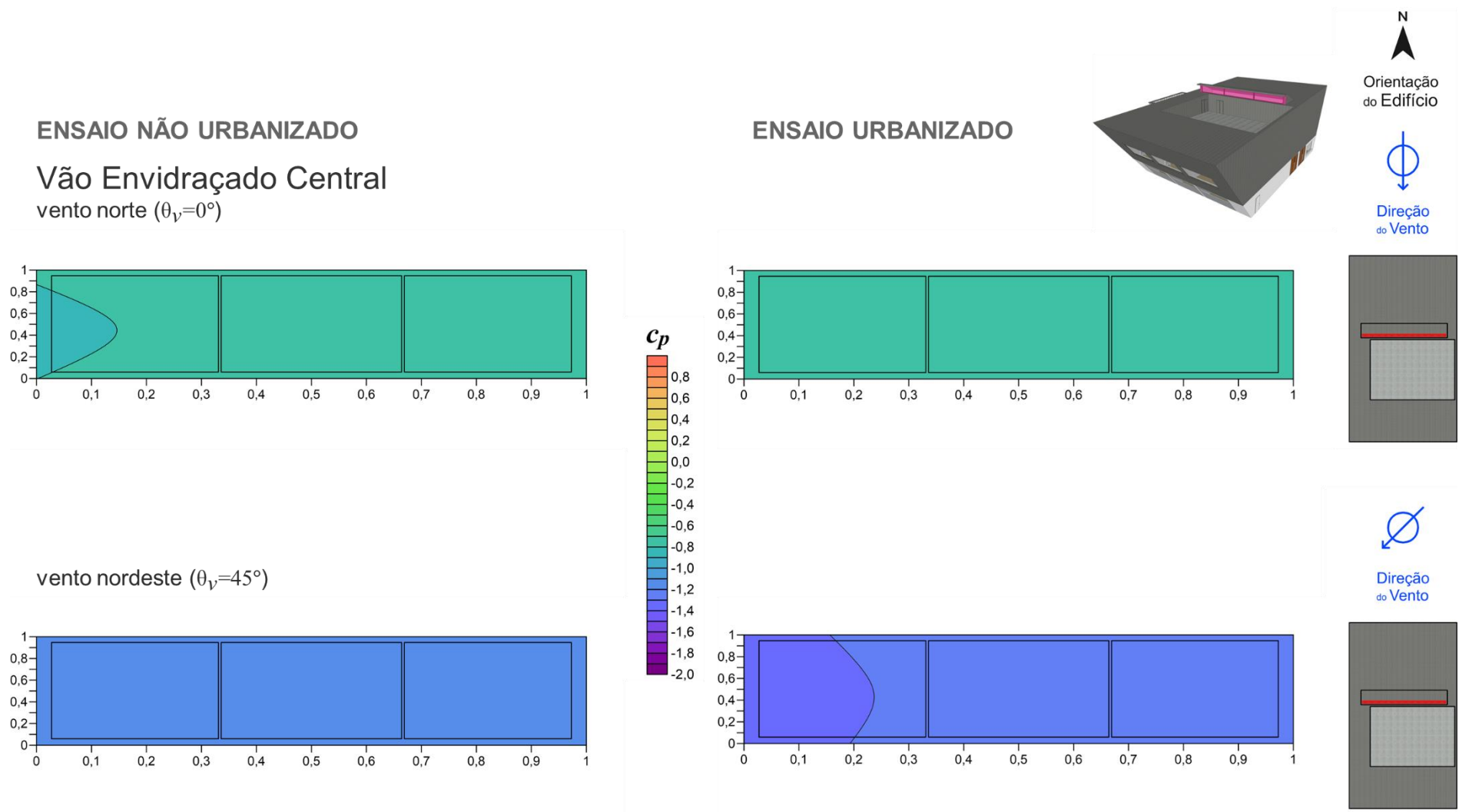
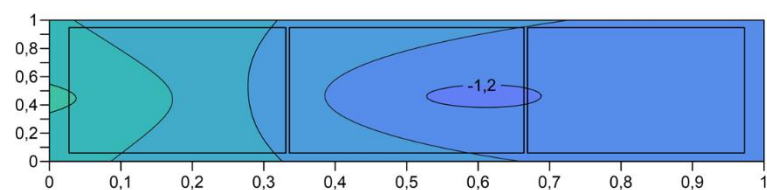


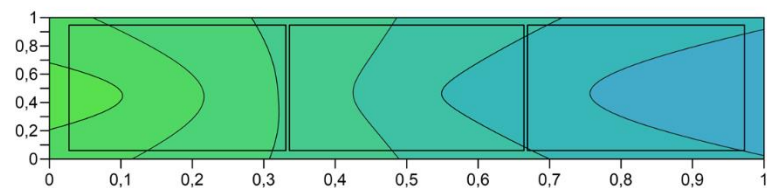
Figura B.39 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

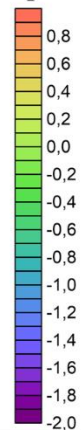
Vão Envidraçado Central
vento este ($\theta_v=90^\circ$)



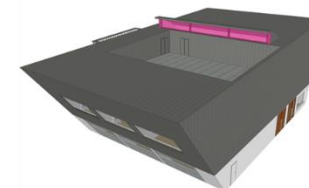
vento sudeste ($\theta_v=135^\circ$)



C_p



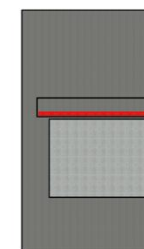
ENSAIO URBANIZADO



Orientação
do Edifício



Direção
do Vento



Direção
do Vento

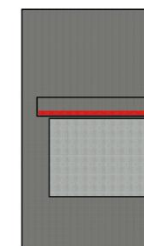
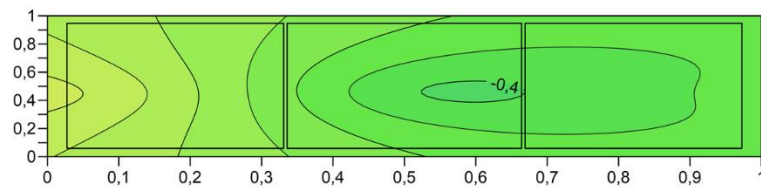


Figura B.40 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).

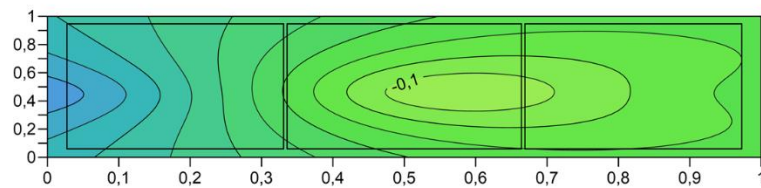
ENSAIO NÃO URBANIZADO

Vão Envidraçado Central

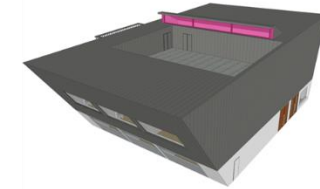
vento sul ($\theta_v=180^\circ$)



vento sudoeste ($\theta_v=225^\circ$)



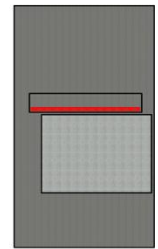
ENSAIO URBANIZADO



Orientação
do Edifício



Direção
do Vento



Direção
do Vento

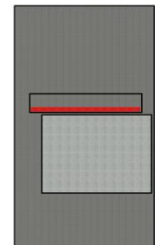


Figura B.41 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

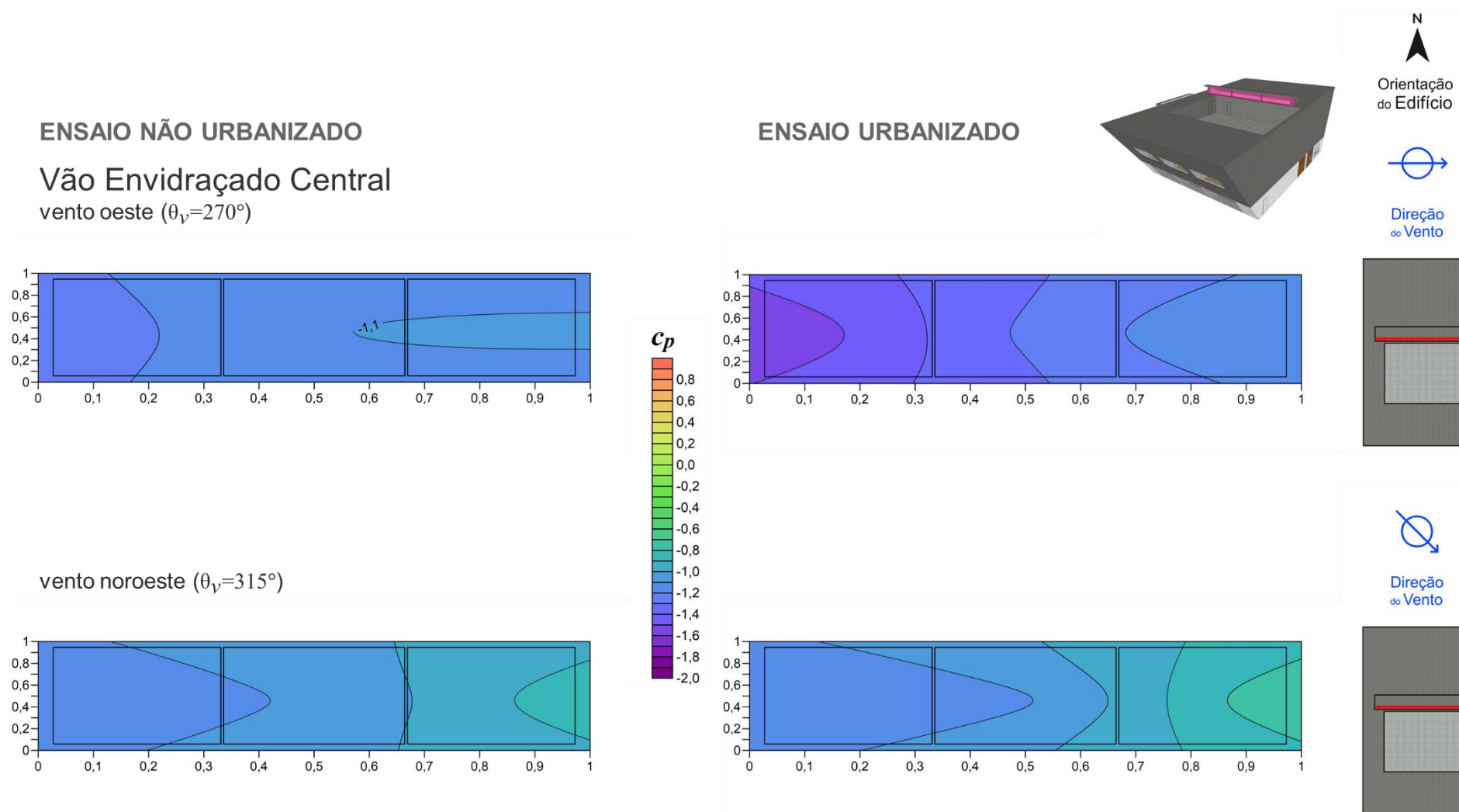
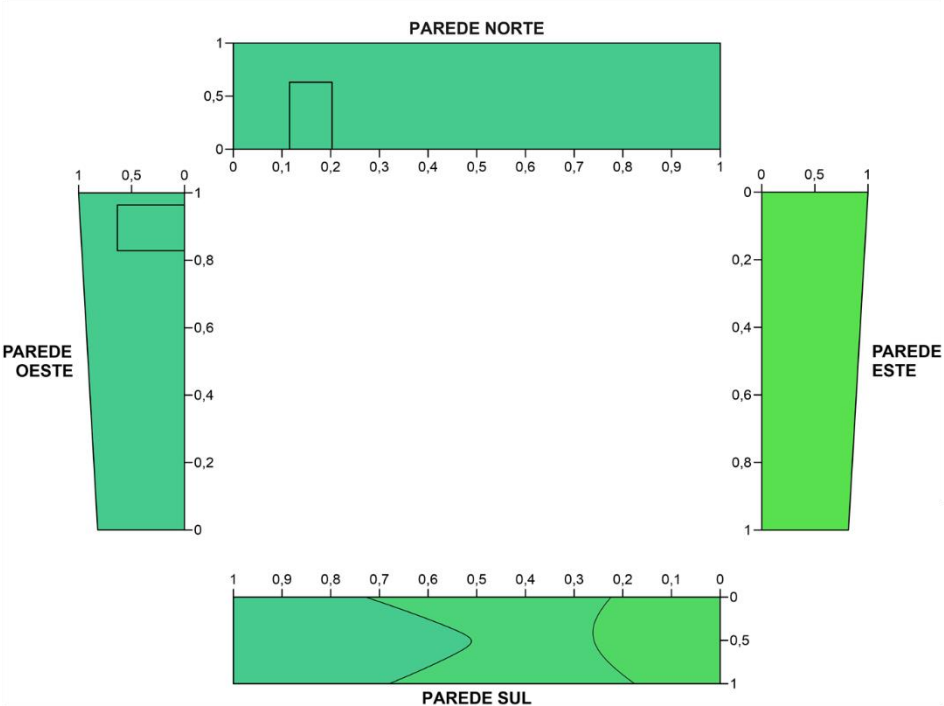


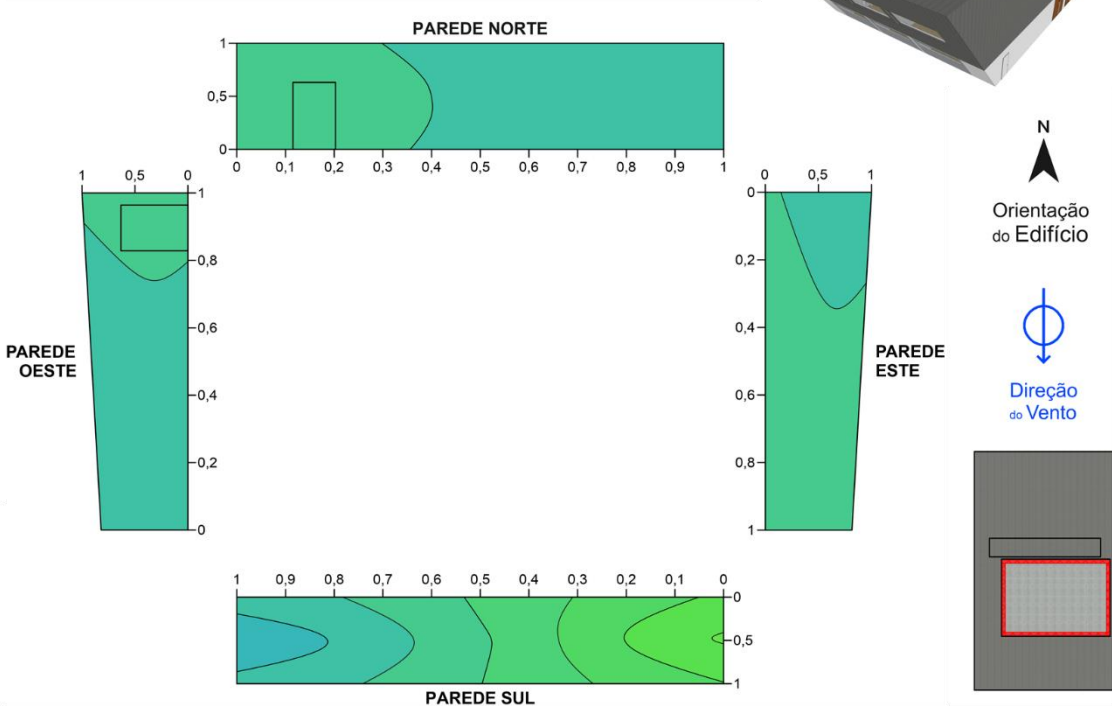
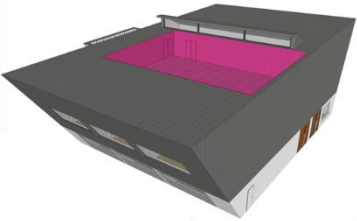
Figura B.42 – Distribuição dos coeficientes de pressão no vão envidraçado central para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

Terraço Técnico
vento norte ($\theta_v=0^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO



vento nordeste ($\theta_v=45^\circ$)

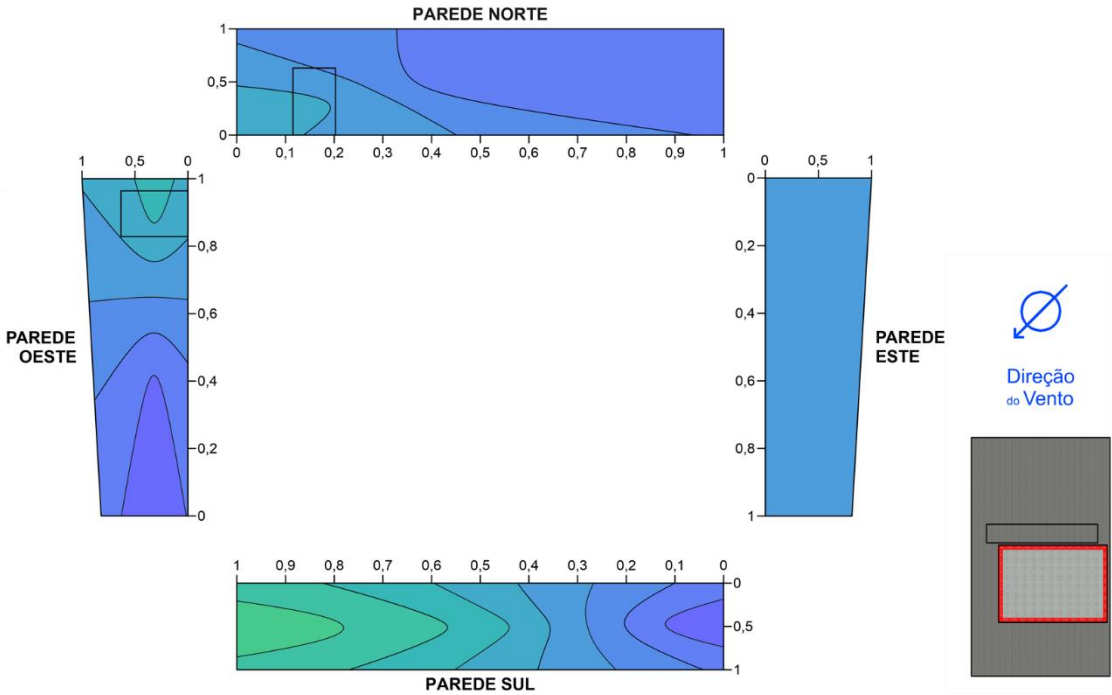
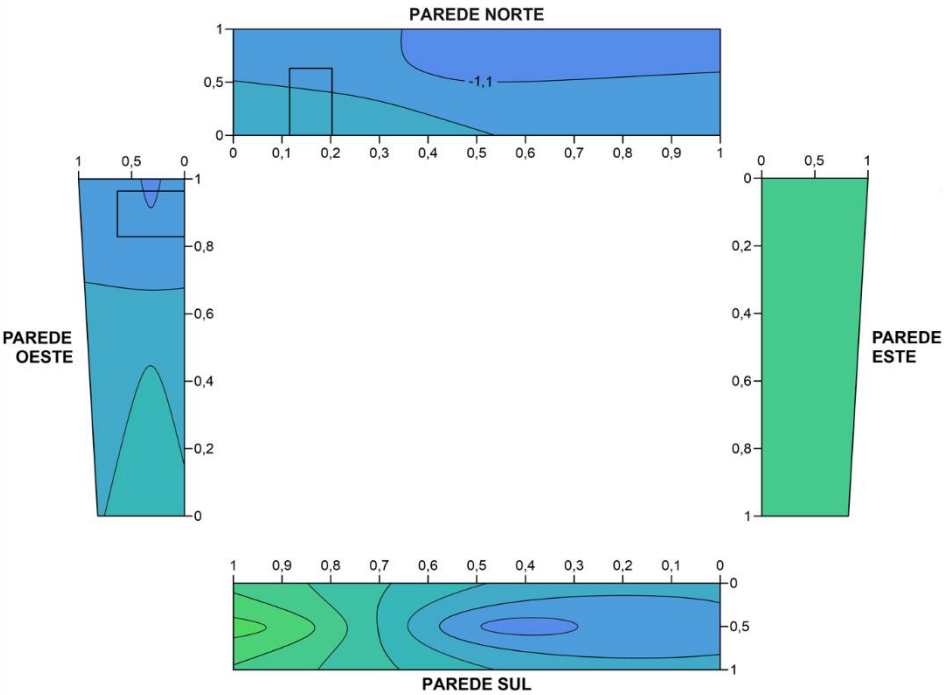
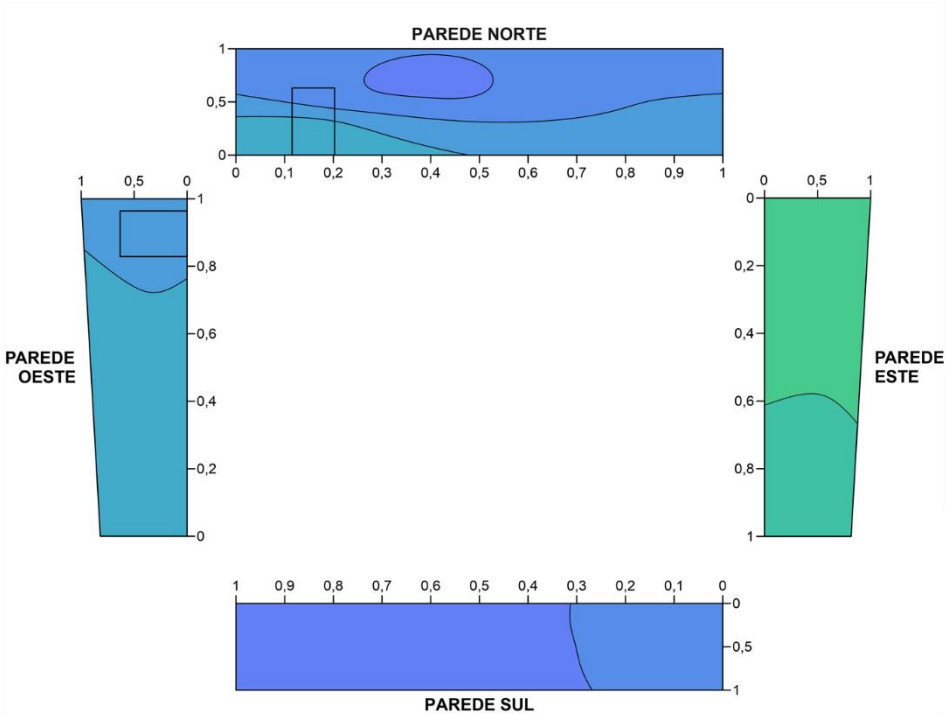


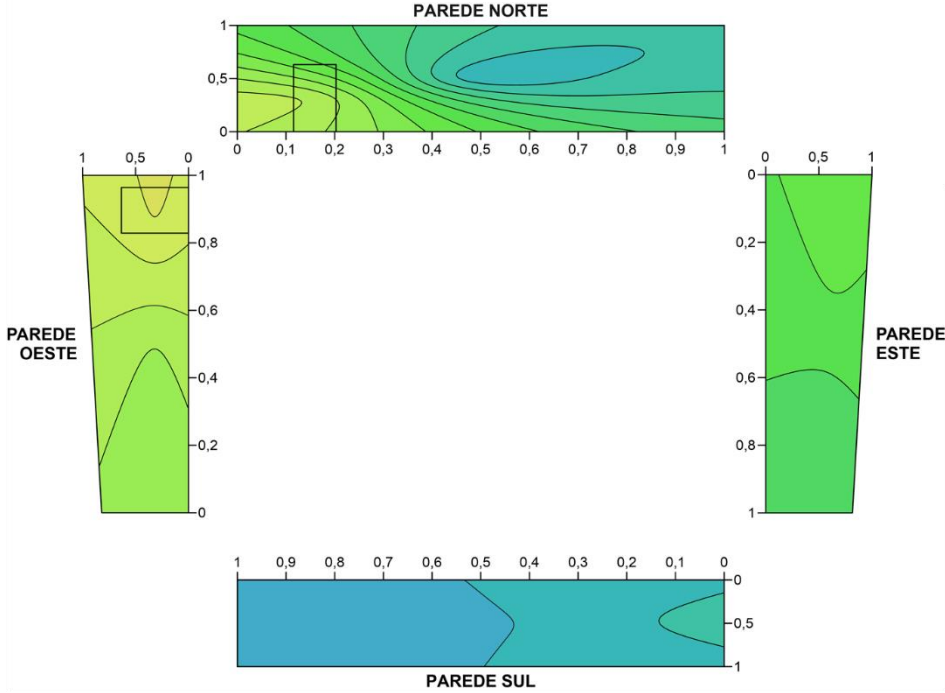
Figura B.43 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções norte ($\theta_v=0^\circ$) e nordeste ($\theta_v=45^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

Terraço Técnico
vento este ($\theta_v=90^\circ$)



vento sudeste ($\theta_v=135^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO

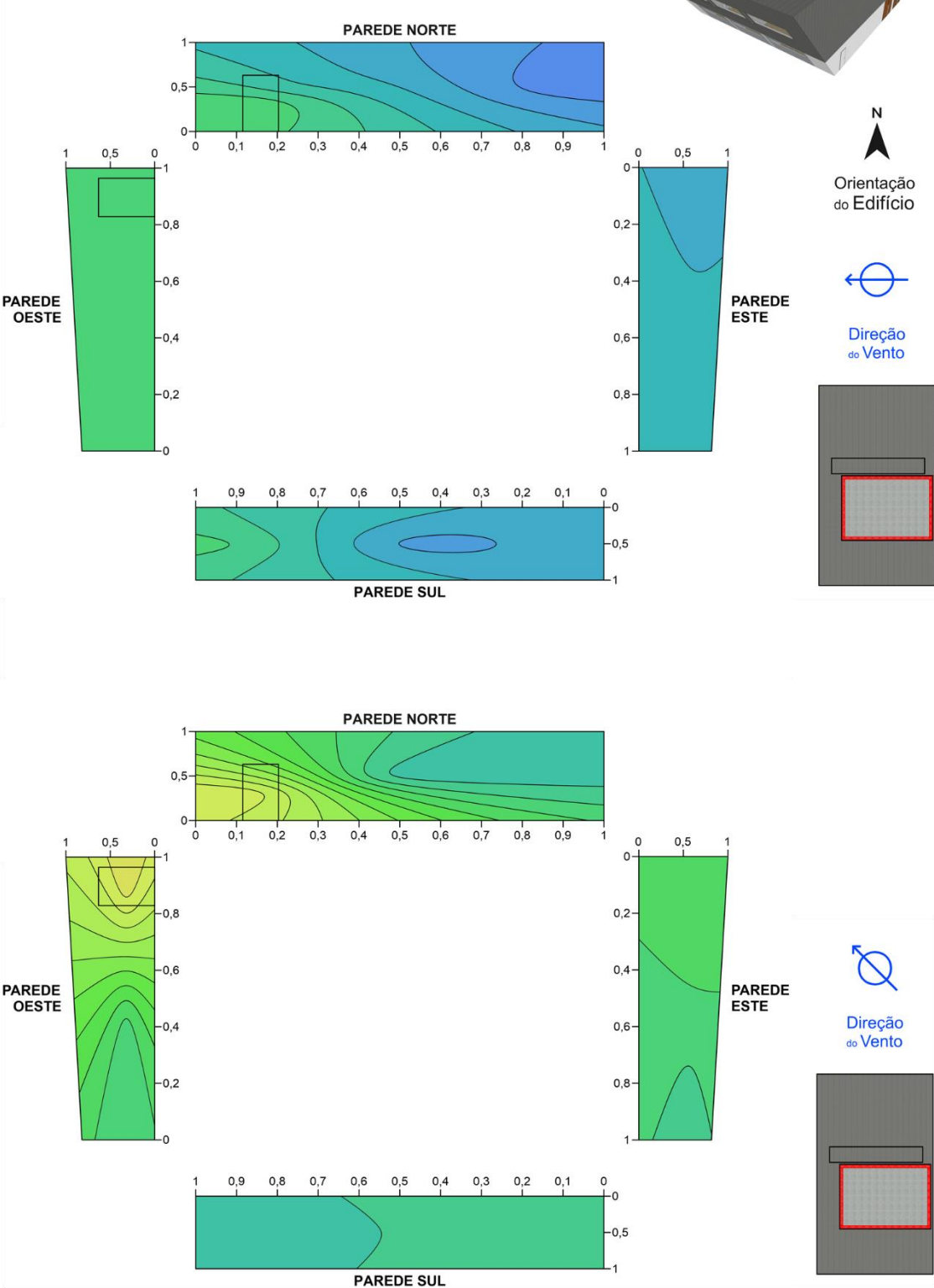
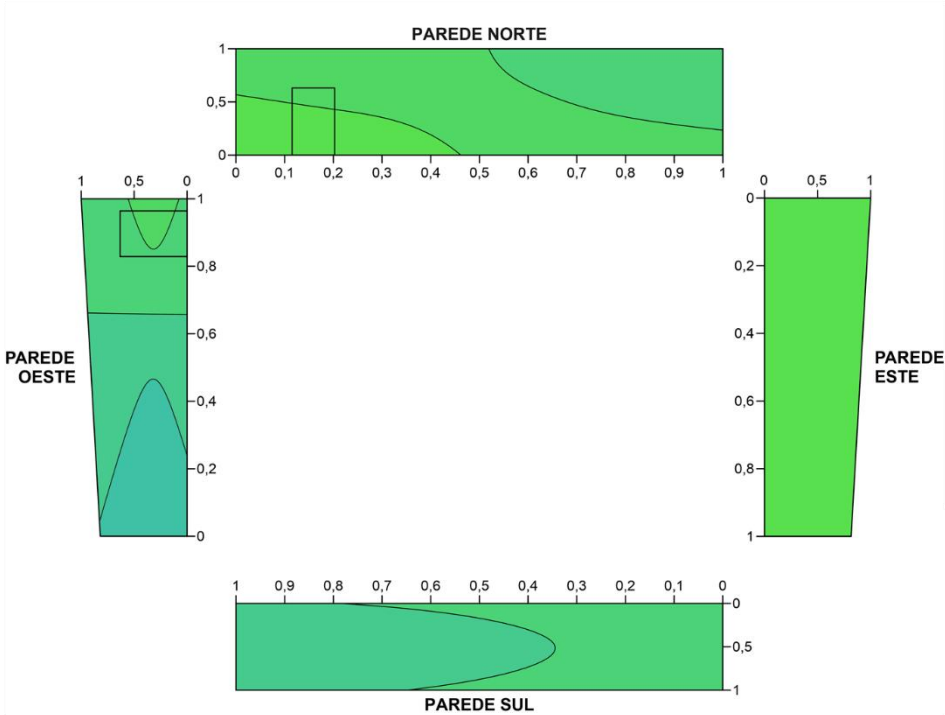


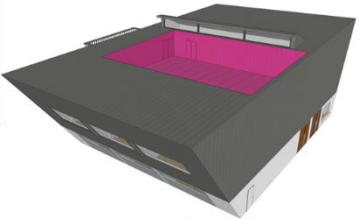
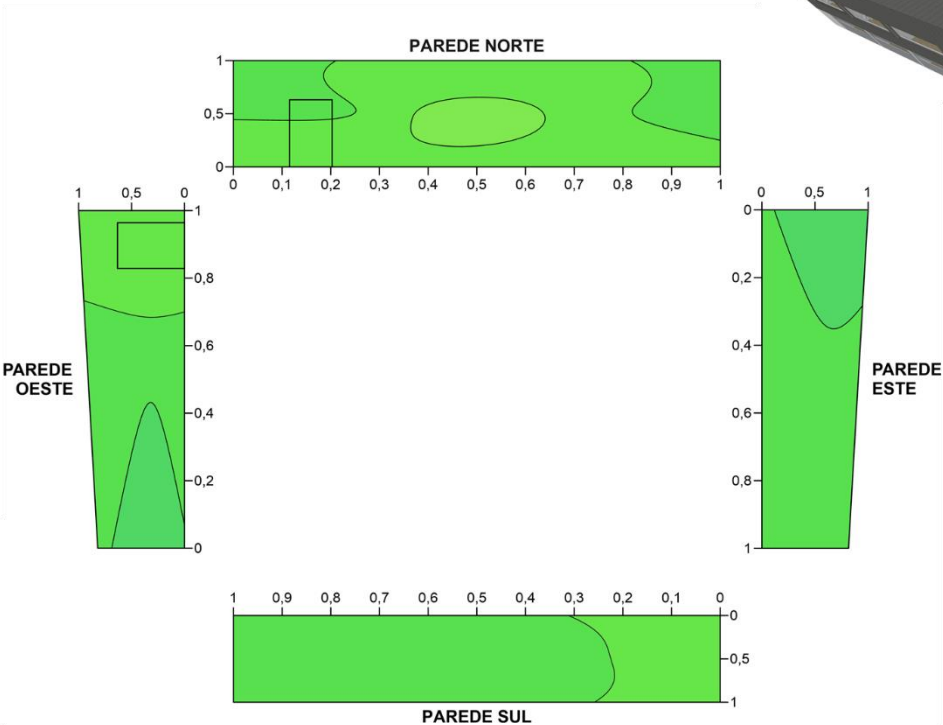
Figura B.44 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções este ($\theta_v=90^\circ$) e sudeste ($\theta_v=135^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

Terraço Técnico
vento sul ($\theta_v=180^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO



vento sudoeste ($\theta_v=225^\circ$)

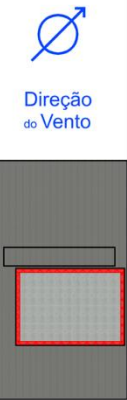
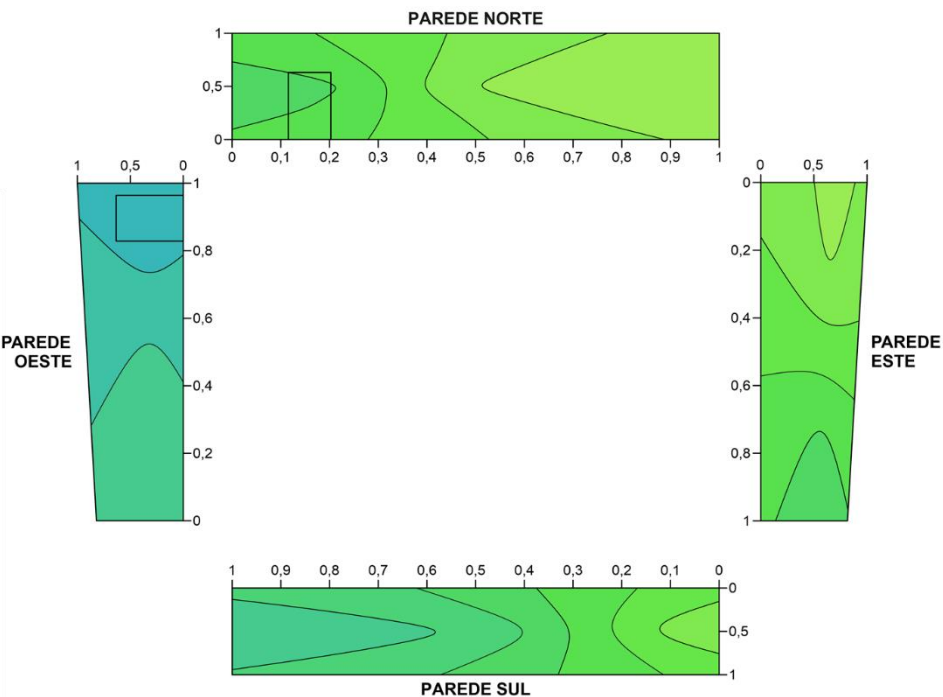
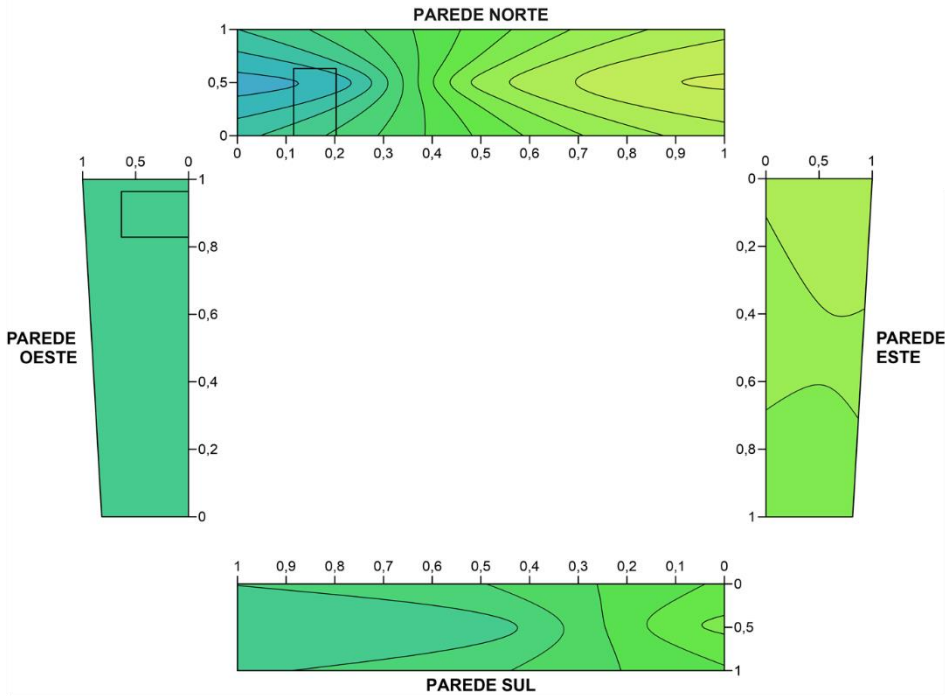
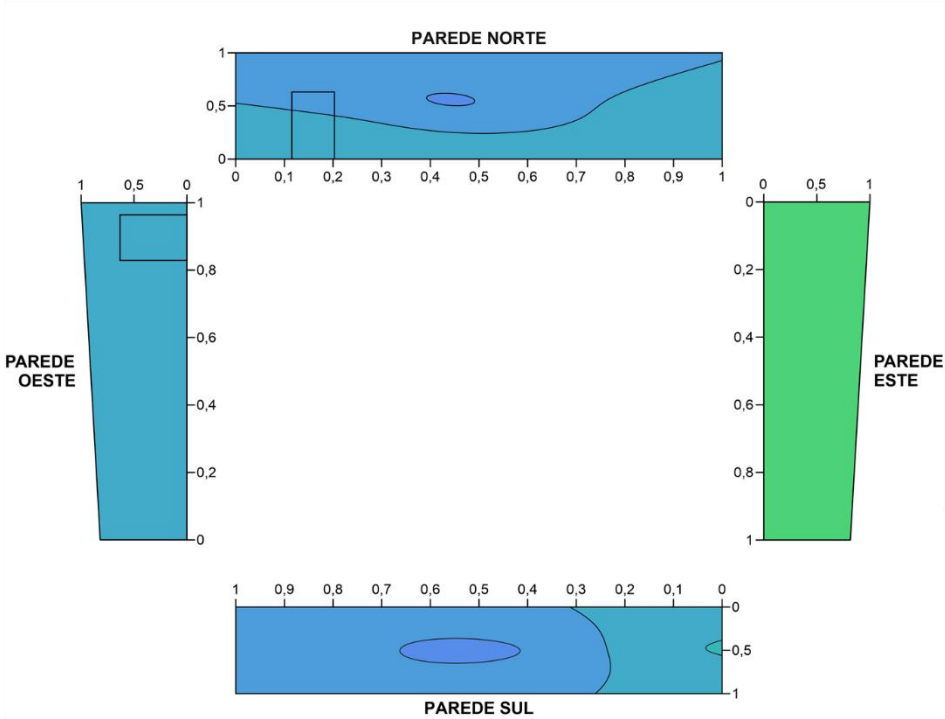


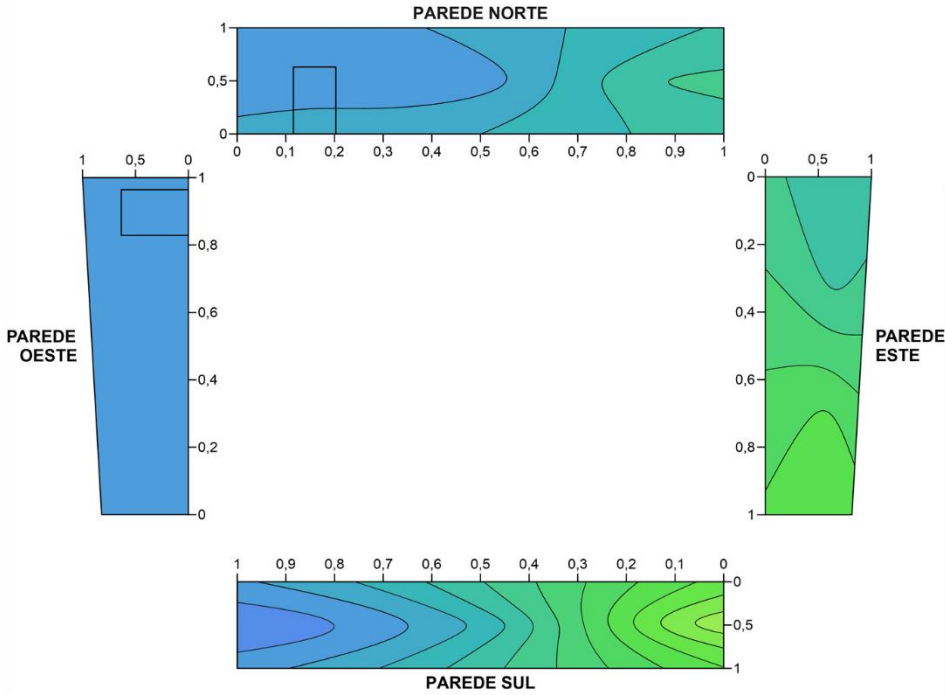
Figura B.45 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções sul ($\theta_v=180^\circ$) e sudoeste ($\theta_v=225^\circ$).

ENSAIO NÃO URBANIZADO

Terraço Técnico
vento oeste ($\theta_v=270^\circ$)



vento noroeste ($\theta_v=315^\circ$)



ENSAIO URBANIZADO

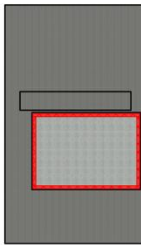
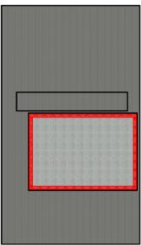
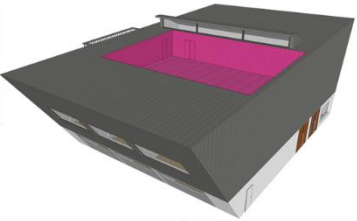
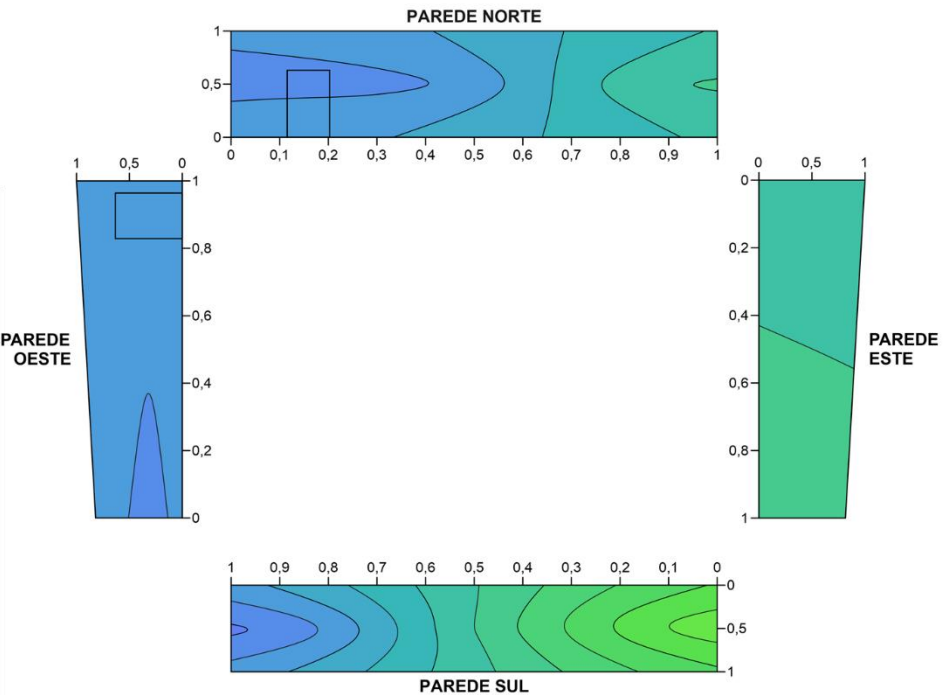
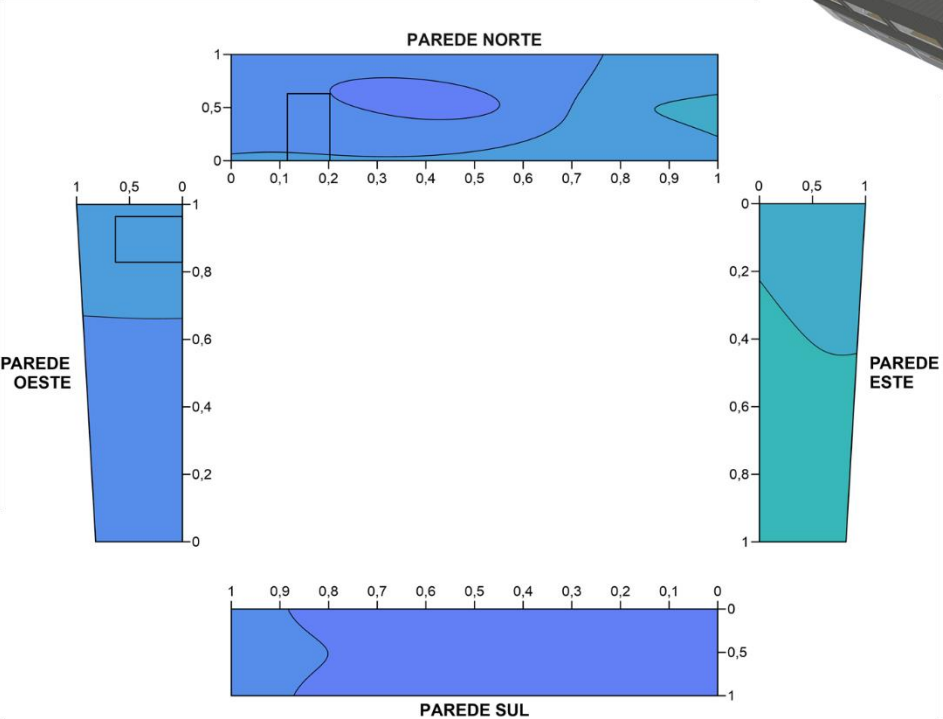


Figura B.46 – Distribuição dos coeficientes de pressão no terraço técnico para um vento com direções oeste ($\theta_v=270^\circ$) e noroeste ($\theta_v=315^\circ$).

Anexo C · Dados e Metodologias Complementares

C.1. Fontes de Consumo

Tabela C.1 – Inventário de equipamentos presentes no edifício.

ID	Designação	Equipamento	Qtd. Un.	P_{uni} [W]	P_{tot} [W]	P_{global} [W]
E.0.1	Armazém	Computador	1	119	119	119
E.0.3	Loja	Computador	1	119	119	119
E.1.1	Laboratório de Química e Microbiologia	Grupo de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência			6 407	55 845
		HPLC UltiMate 3000	1	2200	2 200	
		Dionex ThermoScientific	1	456	456	
		LCQ Fleet ThermoScientific	1	2500	2 500	
		Compressor Peak Scientific de Azoto (ThermoScientific)	1	651	651	
		Bomba de Vácuo Edwards 30	1	600	600	
		Grupo Carbónico Orgânico Total			936	
		Hach Laboratory TOC Analyzer QbD1200	1	480	480	
		Hach AutoSampler QbD1200	1	456	456	
		Grupo de Cromatografia Iónica			225	
		Metrohm 930 Compact IC Flex	1	180	180	
		Metrohm 863 Compact Autosampler	1	45	45	
		Bomba de Vácuo	1	100	100	
		Grupo de Espectrofotometria de Absorção Atómica			10 055	
		Atomic Absorption Spectrometer Agilent SpectrAA 240FS	1	4945	4 945	
		GTA 120 Agilent	1	4600	4 600	
		Computador	1	510	510	
		Grupo de Microbiologia			19 262	
		Forno de Pasteur 170°C Memmert	1	5000	5 000	
		Estufa de Incubação Memmert	4	1600	6 400	
		Câmara de fluxo de ar laminado M1800 Pro	1	225	225	
		Sistema Rampa de Filtração	1	150	150	
		Estufa de Incubação de Baixa Temperatura Memmert	1	175	175	
		Stomacher 400 Circulator Seward	1	90	90	
		Micro-ondas	1	1200	1 200	
		Lupa	1	22	22	
		Autoclave AJC Uniclave 88	1	6000	6 000	
		Equipamento Geral			18 860	
		Manta de Digestão Velp Scientifica DK20	1	2300	2 300	
		Manta Electromantle	1	150	150	
		Placa de Aquecimento Select Compilac	1	600	600	
		Microwave Digestion System Advanced Milestone Ethos Easy	1	2200	2 200	
		Direct Mercury Analyzer Milestone DMA-1	1	3000	3 000	
		Destilador FOSS Kjeltac 8100	1	2200	2 200	
		Metrohm 914pH/Conductometer	1	8	8	

ID	Designação	Equipamento	Qtd. Un.	P_{uni} [W]	P_{tot} [W]	P_{global} [W]
		Bomba de Vácuo	1	300	300	
		Turbidímetro Turb550 WTW	1	6	6	
		Banho Maria Selecta	1	1500	1 500	
		Espectrofotômetro Molecular Thermo Scientific Evolution 260Bio	1	150	150	
		Balanças de Precisão	2	8.04	16	
		Purificador de Água Interlab Direct-Pure	1	120	120	
		Ultrassons Elma Transsonic T780	1	650	650	
		Computador	3	510	1 530	
		Hotte	3	520	1 560	
		Máquina de Lavar Loiça	1	2300	2 300	
		Frigorífico Indesit SI6 1 W	3	90	270	
E.1.2	Sala de Refeições	Microondas	1	1200	1 200	5 090
		Máquina de Café	1	1600	1 600	
		Chaleira Elétrica	1	2200	2 200	
		Frigorífico Hotpoint Ariston	1	90	90	
E.1.6	Gabinete 4	Computador	1	119	119	119
E.1.7	Gabinete 3	Computador	1	119	119	119
E.1.8	Gabinete 2	Computador	1	119	119	119
E.1.9	Gabinete 1	Computador	1	119	119	119
E.1.10	Sala de Reuniões	Computador	1	119	119	224
		Videoprojetor LG LED PF1500G	1	105	105	
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	Computador	2	510	1 020	2 370
		Osciloscópio Siglent SDS2204X	1	60	60	
		Gerador de Sinais UNI-T UTG2025A	1	40	40	
		Analisador de Componentes Eletrônico Avançado Peak DCA75	1	15	15	
		Caudalímetro de Alta Precisão ISOMAG	1	15	15	
		Estação de Soldadura e Reparação JBC RMSE-2D	1	700	700	
		Hotte	1	520	520	
E.2.1	Auditório	Computador	1	510	510	615
		Videoprojetor LG LED PF1500G	1	105	105	

C.2. Temperatura Média Mensal do Solo

A temperatura média mensal do solo foi determinada atendendo ao modelo de condução de calor num plano semi-infinito com perturbação superficial periódica, que considera que a variação anual da temperatura média diária do ar pode ser descrita pela expressão (C.1), e que a variação da temperatura média diária do solo pode ser aproximada por (C.2) [47]:

$$T_{ar}(t) = b + m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (C.1)$$

$$T_{solo}(x, t) = b + m \cdot e^{-x/d} \cdot \cos(\omega \cdot t - (x/d) - (2 - \varphi)) \quad (C.2)$$

em que b é a temperatura média anual [°C], m a amplitude térmica anual [°C], ω a frequência angular em [rad/s], tal que $\omega = 2\pi/\tau$, onde τ é o período de um ano expresso em [s], φ o fator de correção angular [rads], x a profundidade no solo [m] e d a profundidade de penetração periódica em [m] dada por $\sqrt{(2 \cdot \lambda)/(\omega \cdot \rho \cdot c_s)}$.

Do ficheiro climático fornecido pelo LNEG, I.P. [13] para Serpa foi extraído o vetor horário com a temperatura de bolbo seco, tendo-se calculado um vetor que contempla a temperatura média diária. A este último foi-lhe aplicada uma regressão sinusoidal de forma a obter uma expressão equivalente a (C.1), que pode ser descrita por:

$$T_{ar}(t) = 17,67 + 7,82 \cdot \cos(\omega \cdot t + 0,85) \quad (C.3)$$

Atendendo à expressão anterior, e considerando as propriedades termofísicas para um solo coerente com humidade natural ($\lambda = 2,10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ e $c_s = 2085 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ [48]), a expressão que descreve a temperatura do solo para uma dada profundidade é dada por:

$$T_{solo}(x, t) = 17,67 + 7,82 \cdot e^{-x/2,37} \cdot \cos(\omega \cdot t - (x/2,37) - 1,15) \quad (C.4)$$

Como já referido na secção 5.2.1, a modelação da transferência de calor com o solo no *EnergyPlus®* pode recorrer ao objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*, onde deverá ser introduzida a temperatura média mensal do solo à profundidade de 2m para a qual este método alternativo foi validado de acordo com [30]. Na Figura C.1 apresenta-se a temperatura média diária e a sua regressão sinusoidal, assim como, a temperatura do solo estimada a 2m de profundidade pela aplicação da expressão (C.4).

Tendo o vetor da temperatura média diária do solo a 2m, determinou-se a temperatura média mensal que se encontra na Tabela C.2.

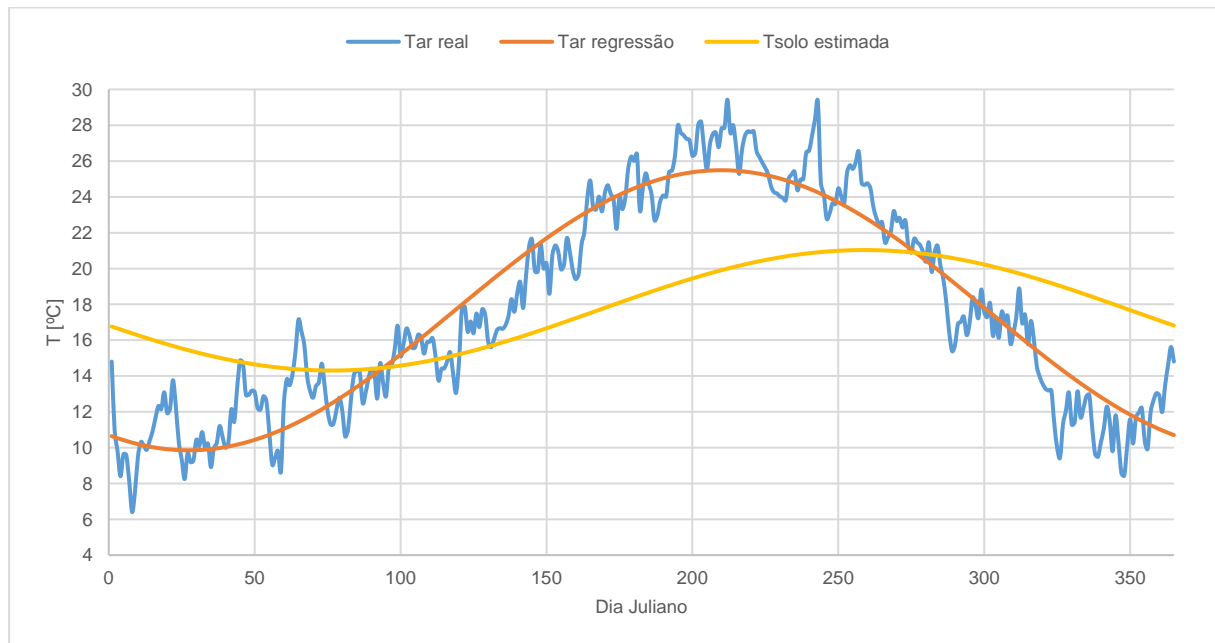


Figura C.1 – Temperatura média diária do ar exterior e a sua regressão sinusoidal, e a temperatura do solo estimada a 2m para o local do caso de estudo.

Tabela C.2 – Temperatura média mensal do solo para o local de estudo.

Mês	$T_{méd}$ [°C]
jan	15,99
fev	14,80
mar	14,35
abr	14,75
mai	15,95
jun	17,61
jul	19,28
ago	20,53
set	21,00
out	20,56
nov	19,34
dez	17,68

C.3. Resultados da Simulação Dinâmica

Tabela C.3 – Capacidade de climatização do sistema auxiliar presente em cada divisão (unidades VRV) e da UTAN.

ID	DESIGNAÇÃO	CAPACIDADE DE CLIMATIZAÇÃO [kW]	
		Aquecimento	Arrefecimento

PISO 0

E.0.1-E.0.1a	Armazém	8,0	-
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	-	5,0
E.0.3-E.0.3a	Loja	4,0	10,0

PISO 1

E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	1,0	7,5
E.1.2	Sala Refeições	2,5	3,0
E.1.6	Gabinete 4	1,5	1,5
E.1.7	Gabinete 3	1,5	1,5
E.1.8	Gabinete 2	1,5	1,5
E.1.9	Gabinete1	1,5	1,5
E.1.10	Sala de Reuniões	1,0	2,0
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	1,0	5,0

PISO 2

E.2.1	Auditório	4,0	10,0
E.2.2	Copa	2,5	3,0

UNIDADES DE SERVIÇO UNIVERSAL

UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	22,0	34,0
------	----------------------------------	------	------

Tabela C.4 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário AVAC.

ID	DESIGNAÇÃO	DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA [kWh/ano]					
		Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Iluminação	Equipamentos	Total
PISO 0							
E.0.1-E.0.1a	Armazém	105	0	UTAN	1 306	0	1 412
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	2	39	UTAN/VE3	36	0	77
E.0.3-E.0.3a	Loja	12	2	UTAN	682	295	991
E.0.4-E.0.5	Instalações Sanitárias	0	0	VE1	62	-	62
PISO 1							
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	150	1 195	UTAN/VE2	165	25 283	26 793
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	-	-	-	3	-	3
E.1.2	Sala Refeições	0	8	UTAN	4	3 315	3 327
E.1.3-E.1.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.1.5	Zona Técnica	-	-	-	2	-	2
E.1.6	Gabinete 4	4	29	UTAN	17	245	294
E.1.7	Gabinete 3	3	18	UTAN	30	245	297
E.1.8	Gabinete 2	4	38	UTAN	87	245	374
E.1.8a	Arquivo	-	-	UTAN	1	-	1
E.1.9	Gabinete1	4	31	UTAN	125	245	405
E.1.10	Sala de Reuniões	0	5	UTAN	17	24	47
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	19	87	UTAN	272	500	878
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	-	-	-	3	-	3
PISO 2							
E.2.1	Auditório	2	78	UTAN	41	90	212
E.2.1a	Arrumos Auditório	-	-	UTAN	9	-	9
E.2.2	Copa	3	1	UTAN	5	-	9
E.2.3-E.2.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.2.5	Zona Técnica	-	-	-	4	-	4
ZONAS DE CIRCULAÇÃO							
Z.CIR0-Z.CIR2	Zonas de Acesso	-	-	-	2 139	-	2 139
ELV	Elevador	-	-	-	-	737 [58]	737
ESC(N)	Escadas Norte	-	-	-	1 027	-	1 027
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	-	-	-	706	-	706
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	-	-	-	706	-	706
UNIDADES DE SERVIÇO UNIVERSAL							
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	4 572	2 698	4 580	-	-	11 850
VE1	Ventilador de Extração 1	-	-	525	-	-	525
VE2	Ventilador de Extração 2	-	-	310	-	-	310
VE3	Ventilador de Extração 3	-	-	233	-	-	233
TOTAL		4 881	4 230	5 648	7 573	31 224	53 557
%		9,1%	7,9%	10,5%	14,1%	58,3%	100,0%
TOTAL [kWh/m²·ano]		4,5	3,9	5,2	7,0	28,7	49,3

Tabela C.5 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário Híbrido i.

ID	DESIGNAÇÃO	DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA [kWh/ano]					
		Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Iluminação	Equipamentos	Total
PISO 0							
E.0.1-E.0.1a	Armazém	169	0	UTAN	1 306	0	1 475
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	16	53	UTAN/VE3	36	0	105
E.0.3-E.0.3a	Loja	55	11	UTAN	683	295	1 044
E.0.4-E.0.5	Instalações Sanitárias	0	0	VE1	62	-	62
PISO 1							
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	138	1 181	UTAN/VE2	165	25 283	26 767
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	-	-	-	3	-	3
E.1.2	Sala Refeições	5	14	UTAN	4	3 315	3 338
E.1.3-E.1.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.1.5	Zona Técnica	-	-	-	2	-	2
E.1.6	Gabinete 4	24	39	UTAN	17	245	325
E.1.7	Gabinete 3	21	27	UTAN	30	245	323
E.1.8	Gabinete 2	10	53	UTAN	87	245	394
E.1.8a	Arquivo	-	-	UTAN	1	-	1
E.1.9	Gabinete1	22	46	UTAN	125	245	439
E.1.10	Sala de Reuniões	1	6	UTAN	17	24	49
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	22	121	UTAN	272	500	914
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	-	-	-	3	-	3
PISO 2							
E.2.1	Auditório	4	89	UTAN	41	90	224
E.2.1a	Arrumos Auditório	-	-	UTAN	3	-	3
E.2.2	Copa	5	2	UTAN	5	-	12
E.2.3-E.2.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.2.5	Zona Técnica	-	-	-	4	-	4
ZONAS DE CIRCULAÇÃO							
Z.CIR0-Z.CIR2	Zonas de Acesso	-	-	-	2 139	-	2 139
ELV	Elevador	-	-	-	-	737 [58]	737
ESC(N)	Escadas Norte	-	-	-	1 027	-	1 027
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	-	-	-	706	-	706
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	-	-	-	706	-	706
UNIDADES DE SERVIÇO UNIVERSAL							
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	3 366	2 699	4 580	-	-	10 646
VE1	Ventilador de Extração 1	-	-	525	-	-	525
VE2	Ventilador de Extração 2	-	-	310	-	-	310
VE3	Ventilador de Extração 3	-	-	233	-	-	233
TOTAL		3 858	4 340	5 648	7 568	31 224	52 638
%		7,3%	8,2%	10,7%	14,4%	59,3%	100,0%
TOTAL [kWh/m²·ano]		3,6	4,0	5,2	7,0	28,7	48,4

Tabela C.6 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário Híbrido ii.

ID	DESIGNAÇÃO	DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA [kWh/ano]					
		Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Iluminação	Equipamentos	Total
PISO 0							
E.0.1-E.0.1a	Armazém	106	0	UTAN	1 306	0	1 413
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	61	35	UTAN/VE3	36	0	132
E.0.3-E.0.3a	Loja	13	9	UTAN	683	295	1 000
E.0.4-E.0.5	Instalações Sanitárias	0	0	VE1	62	-	62
PISO 1							
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	133	1 198	UTAN/VE2	165	25 283	26 779
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	-	-	-	3	-	3
E.1.2	Sala Refeições	1	13	UTAN	4	3 315	3 333
E.1.3-E.1.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.1.5	Zona Técnica	-	-	-	2	-	2
E.1.6	Gabinete 4	30	39	UTAN	17	245	331
E.1.7	Gabinete 3	26	27	UTAN	30	245	328
E.1.8	Gabinete 2	11	52	UTAN	87	245	395
E.1.8a	Arquivo	-	-	UTAN	1	-	1
E.1.9	Gabinete1	24	47	UTAN	125	245	442
E.1.10	Sala de Reuniões	0	6	UTAN	17	24	48
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	17	118	UTAN	272	500	906
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	-	-	-	3	-	3
PISO 2							
E.2.1	Auditório	17	88	UTAN	41	90	237
E.2.1a	Arrumos Auditório	-	-	UTAN	3	-	3
E.2.2	Copa	4	2	UTAN	5	-	11
E.2.3-E.2.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	62	-	62
E.2.5	Zona Técnica	-	-	-	4	-	4
ZONAS DE CIRCULAÇÃO							
Z.CIR0-Z.CIR2	Zonas de Acesso	-	-	-	2 139	-	2 139
ELV	Elevador	-	-	-	-	737 [58]	737
ESC(N)	Escadas Norte	-	-	-	1 027	-	1 027
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	-	-	-	706	-	706
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	-	-	-	706	-	706
UNIDADES DE SERVIÇO UNIVERSAL							
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	2 137	1 825	3 356	-	-	7 318
VE1	Ventilador de Extração 1	-	-	525	-	-	525
VE2	Ventilador de Extração 2	-	-	310	-	-	310
VE3	Ventilador de Extração 3	-	-	233	-	-	233
TOTAL		2 581	3 459	4 424	7 568	31 224	49 256
%		5,2%	7,0%	9,0%	15,4%	63,4%	100,0%
TOTAL [kWh/m²·ano]		2,4	3,2	4,1	7,0	28,7	45,3

Tabela C.7 – Desagregação do consumo de energia por divisão e por fonte no Cenário de Referência.

ID	DESIGNAÇÃO	DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA [kWh/ano]					
		Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Iluminação	Equipamentos	Total
PISO 0							
E.0.1-E.0.1a	Armazém	1 131	148	UTAN	4 060	0	5 340
E.0.2	Sala de Baterias e Inversores	604	0	UTAN/VE3	147	0	750
E.0.3-E.0.3a	Loja	292	189	UTAN	4 473	295	5 250
E.0.4-E.0.5	Instalações Sanitárias	0	0	VE1	59	-	59
PISO 1							
E.1.1	Lab. de Química e Microbiologia	463	2 027	UTAN/VE2	2 434	25 283	30 208
E.1.1a	Arrumos Lab. Química e Microbio.	-	-	-	5	-	5
E.1.2	Sala Refeições	93	35	UTAN	197	3 315	3 641
E.1.3-E.1.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	59	-	59
E.1.5	Zona Técnica	-	-	-	1	-	1
E.1.6	Gabinete 4	112	88	UTAN	543	245	988
E.1.7	Gabinete 3	82	74	UTAN	388	245	789
E.1.8	Gabinete 2	151	121	UTAN	637	245	1 153
E.1.8a	Arquivo	-	-	UTAN	2	-	2
E.1.9	Gabinete1	157	126	UTAN	764	245	1 292
E.1.10	Sala de Reuniões	33	9	UTAN	42	24	108
E.1.11	Laboratório de Máquinas Elétricas	1 079	296	UTAN	1 881	500	3 757
E.1.11a	Arrumos Lab. Máquinas Elétricas	-	-	-	5	-	5
PISO 2							
E.2.1	Auditório	145	168	UTAN	511	90	915
E.2.1a	Arrumos Auditório	-	-	UTAN	12	-	12
E.2.2	Copa	41	2	UTAN	11	-	53
E.2.3-E.2.4	Instalações Sanitárias	-	-	VE1	59	-	59
E.2.5	Zona Técnica	-	-	-	6	-	6
ZONAS DE CIRCULAÇÃO							
Z.CIR0-Z.CIR2	Zonas de Acesso	-	-	-	2 183	-	2 183
ELV	Elevador	-	-	-	-	737 [58]	737
ESC(N)	Escadas Norte	-	-	-	98	-	98
ESC(E1)	Escadas de Emergência Este 1	-	-	-	205	-	205
ESC(E2)	Escadas de Emergência Este 2	-	-	-	205	-	205
UNIDADES DE SERVIÇO UNIVERSAL							
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	3 674	4 215	10 178	-	-	18 067
VE1	Ventilador de Extração 1	-	-	592	-	-	592
VE2	Ventilador de Extração 2	-	-	379	-	-	379
VE3	Ventilador de Extração 3	-	-	242	-	-	242
TOTAL		8 056	7 499	11 391	18 989	31 224	77 160
%		10,4%	9,7%	14,8%	24,6%	40,5%	100,0%
TOTAL [kWh/m²·ano]		7,4	6,9	10,5	17,5	28,7	71,0

C.4. Integração de Produção Renovável

C.4.1. Equipamentos e Custos

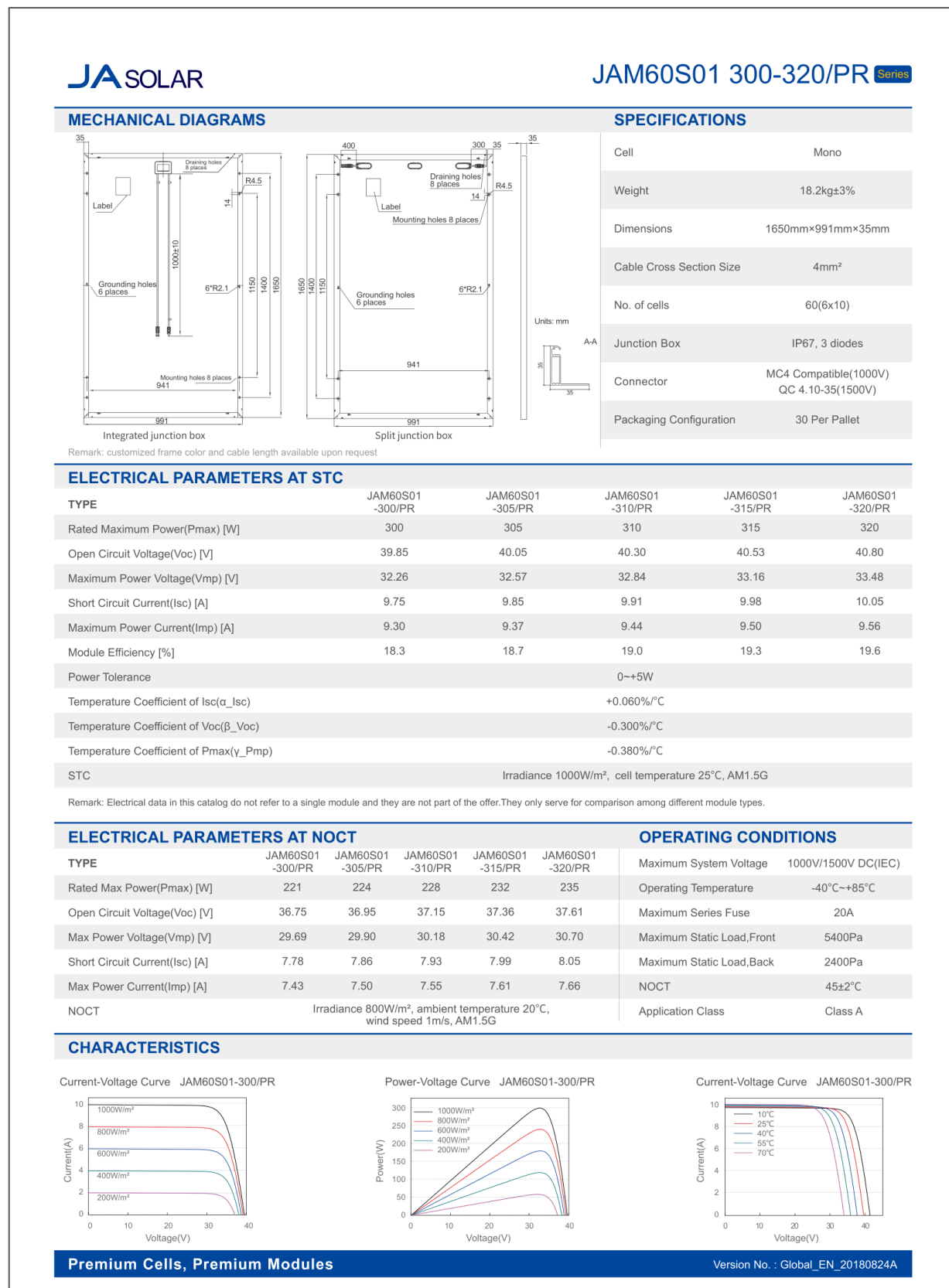


Figura C.2 – Ficha das Características Técnicas do Módulo Solar Fotovoltaico JAM60S01-320/PR.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS PRIMO

SHIFTING THE LIMITS

 / SnapInverter mounting system
  / Wireless monitoring
  / Open data communication
  / Smart Grid Ready
  / Arc Fault Circuit Interruption

The transformerless Fronius Primo is the ideal compact single-phase inverter for residential and small-scale commercial applications with power categories from 3.8 to 8.2 kW. In accordance with ESA rules for residential applications, the Fronius Primo can operate efficiently at a maximum input voltage of 600 V. And for increased efficiency and additional cost savings for commercial applications, the Fronius Primo can operate at the maximum input voltage of 1,000 V. Industry-leading features now come standard with the Fronius Primo, including: dual maximum power point tracking, arc fault protection, integrated wireless monitoring and SunSpec Modbus interfaces for seamless monitoring and datalogging via Fronius' online and mobile platform, Fronius Solar.web.

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO

GENERAL DATA	FRONIUS PRIMO 3.8 - 8.2	FRONIUS PRIMO 10.0-15.0
Dimensions (width x height x depth)	16.9 x 24.7 x 8.1 in. / 42.9 x 62.7 x 20.6 cm	20.1 x 28.5 x 8.9 in. / 51.1 x 72.4 x 20.6 cm
Weight	47.4 lb. / 21.5 kg	82.5 lbs. / 37.4 kg
Degree of protection	NEMA 4X	
Night time consumption	< 1 W	
Inverter topology	Transformerless	
Cooling	Controlled forced ventilation, variable speed fan	
Installation	Indoor and outdoor installation	
Ambient operating temperature range	-40 to 131 F / -40 to 55 C	-40 to 140 F / -40 to 60 C
Permitted humidity	0 - 100 %	
DC connection terminals	2x DC+1, 2x DC+2 and 4x DC- screw terminals for solid: copper and aluminium stranded / fine stranded: copper and aluminium	4x DC+1, 2x DC+2 and 6x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminium (solid / stranded)
AC connection terminals	Screw terminals 12 - 6 AWG	
Revenue Grade Metering	Optional (ANSI C12.1 accuracy)	
Certificates and compliance with standards	UL 1741-2015, UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2014 Article 690, C22.2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TIL M-07 Issue 1-2013	UL 1741-2015, UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690-2014, C22.2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2-2013, CSA TIL M-07 Issue 1-2013

PROTECTIVE DEVICES

	STANDARD WITH ALL PRIMO MODELS
AFCI	Yes
Ground Fault Protection with Isolation Monitor Interrupter	Yes
DC disconnect	Yes
DC reverse polarity protection	Yes

INTERFACES

INTERFACES	AVAILABILITY	AVAILABLE WITH ALL FRONIUS PRIMO MODELS
USB (A socket)	Standard	Datalogging and inverter update via USB
2x RS422 (RJ45 socket)	Standard	Fronius Solar Net, interface protocol
Wi-Fi*/Ethernet/Serial/Datalogger and webserver	Optional	Wireless standard 802.11 b/g/n / Fronius Solarweb, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
6 inputs or 4 digital inputs/outputs	Optional	External relay controls

*The term Wi-Fi® is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance.

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO 3.8-1 TO 8.2-1

INPUT DATA	PRIMO 3.8-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Max. permitted PV power (kWp)	5.7 kW	7.5 kW	9.0 kW	11.4 kW	12.3 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)	18 A / 18 A	18 A / 18 A	18 A / 18 A	18 A / 18 A	18 A / 18 A
Total max. DC current	36 A				
Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2)	27 A				
Operating voltage range	80 V - 1,000 V				
Max. input voltage	1,000 V				
Nominal input voltage	410 V	420 V	420 V	420 V	420 V
Admissible conductor size DC	AWG 14 - AWG 6				
MPP voltage range	200 - 800 V	240 - 800 V	240 - 800 V	250 - 800 V	270 - 800 V
Number of MPPT	2				

Figura C.3 – Ficha das Características Técnicas do Inversor de Rede Fronius Primo 5.0-1.

On-Grid Inverter with Energy Storage

InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage Selection Guide

MODEL	InfiniSolar 2KW	InfiniSolar Plus 3KW	InfiniSolar Pro 3KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 3P 10KW
PHASE	1-phase in / 1-phase out				3-phase in / 3-phase out
MAXIMUM PV INPUT POWER	2250 W	4500 W	4500 W	10000 W	14850 W
RATED OUTPUT POWER	2000 W	3000 W	3000 W	5000 W	10000 W
MAXIMUM CHARGING POWER	1200 W		1200 W	4800 W	9600 W
GRID-TIE OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	120 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC			230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88 - 127 VAC*	184 - 265 VAC*			184 - 265 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5A per phase
Power Factor	> 0.99				
EFFICIENCY					
Maximum Conversion Efficiency (DC/AC)	95%	96%			
European Efficiency@ Vnominal	94%	95%			
OFF-GRID OPERATION					
AC INPUT					
AC Start-up Voltage/Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
PV INPUT (DC)					
Maximum DC Voltage	350 VDC	500 VDC	500 VDC	900 VDC	900 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Waveform	Pure Sinewave				
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
HYBRID OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88-127 VAC*	184 - 264.5 VAC*			184 - 264.5 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5 A per phase
AC INPUT					
AC Start-up Voltage / Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
BATTERY & CHARGER					
Nominal DC Voltage	48 VDC				
Maximum Charging Current	Default 25A, 5A - 25A (Adjustable)		Default 25 A, 5A - 60A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 100A (Adjustable)	Default 60A, 10A - 200A (Adjustable)
GENERAL					
PHYSICAL					
Dimension, D x W x H (mm)	107 x 438 x 480			204.2 x 460 x 600	167.5 x 500 x 622
Net Weight (kgs)	15.5			29	45
INTERFACE					
Communication Port	RS-232/USB			RS-232/USB	
Intelligent Slot	Optional SNMP, Modbus and AS-400 cards available				
ENVIRONMENT					
Humidity	0 ~ 90% RH (Non-Condensing)				
Operating Temperature	0 to 40°C		-10 to 55°C		
Altitude	0 ~ 1000 m**				

*These figures may vary depending on different AC voltage and country requirements.

**Power derating 1% every 100 m when altitude is over 1000m.

Product specifications are subject to change without further notice.

 CE VDE-AR-N 4105
 VDE 0126-1-1
 AS4777, AS/NZS3100, NRS-097-2-1 (only for InfiniSolar Plus 3KW)

13 www.volttronicpower.com

Figura C.4 – Ficha das Características Técnicas do Inversor Híbrido InfiniSolar Plus 5kW.

Tabela C.8 – Tarifário médio de aquisição de energia elétrica no mercado liberalizado para uma potência contratada de 27,6kVA.

Tarifário de Aquisição		
Termo Potência [€/ano]		576,14
Termo Energia [€/kWh]	Ponta	0,3320
	Cheia	0,1919
	Vazio	0,1174

Tabela C.9 – Tarifa simples mensal de referência para venda de energia aplicada às UPAC nos termos do RPD [59].

Tarifário Simples Mensal de Venda	Média OMIE [€/kWh]
jan	0,0516
fev	0,0550
mar	0,0398
abr	0,0427
mai	0,0551
jun	0,0585
jul	0,0618
ago	0,0643
set	0,0713
out	0,0654
nov	0,0620
dez	0,0619

Tabela C.10 – Custos e vida útil dos componentes do sistema de produção renovável definidos pelo requerente do projeto.

SETOR	INVESTIMENTO	CUSTO DE SUBSTITUIÇÃO	CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	VIDA ÚTIL
GRUPO SOLAR				
Painéis Solares JAM60201-320/PR	282,90 €/kW	282,90 €/kW	2,83 €/kW·ano	25 anos
Estrutura, Cabelagem e Sistema de Proteção DC	84,87 €/kW	-	0,85 €/kW·ano	25 anos
INVERSORES E SISTEMAS AUXILIARES INVERSORES E SISTEMAS AUXILIARES				
Inversor Fronius 5kW	1 423,00 €/und.	1 423,00 €/und.	14,23 €/und·ano	15 anos
Inversor InfiniSolar Plus 5kW	2 189,40 €/und.	1 423,00 €/und.	21,89 €/und·ano	15 anos
Gerador de Apoio 25kW	7 048,00 €/und.	7 048,00 €/und.	151,19 €/und·ano	25 anos
Bateria Hoppeck (2Vx4700Ah)	994,46 €/und.	994,46 €/und.	1,99 €/und·ano	20 anos
Bateria Hoppeck (2Vx4340Ah)	957,86 €/und.	957,86 €/und.	1,92 €/und·ano	20 anos
Bateria Hoppeck (2Vx3980Ah)	892,05 €/und.	892,05 €/und.	8,92 €/und·ano	20 anos
Bateria Hoppeck (2Vx1220Ah)	297,98 €/und.	297,98 €/und.	2,98 €/und·ano	20 anos

Tabela C.11 – Taxas de exploração das Unidades de Produção para Autoconsumo.

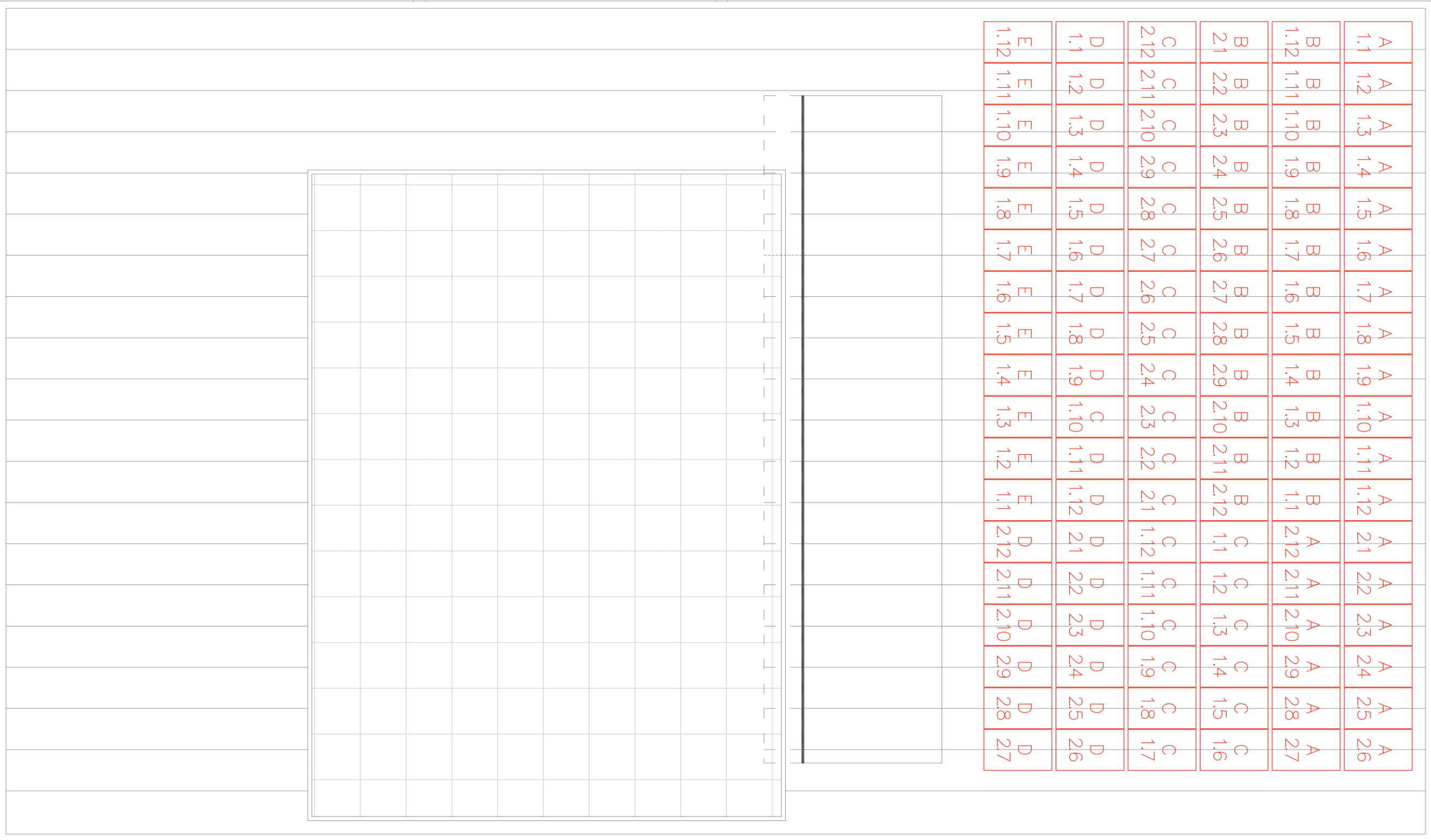
TAXA	CUSTO
ÚNICA	
Taxa de Conexão à Rede [60]	^(a) 748,33 €
Taxa de Inspeção para UPAC On-grid com injeção na Rede e P _{UPAC} de 5kW a 100kW	^(b) 250,00 €
Taxa de Inspeção para UPAC On-grid sem injeção na Rede e P _{UPAC} de 5kW a 100kW	^(b) 175,00 €
ANUAL	
Compensação ao Sistema Electroprodutor Nacional	^(c) 45,10 €/kW·ano
Seguro de Responsabilidade Civil	^(d) 9,20 €/kW·ano

^(a) O valor da taxa de conexão para uma instalação elétrica com integração renovável. O valor da taxa de conexão para instalações elétricas sem unidades UPAC é de 498,33€ [60].

^(b) Número 1 do Artigo 19.º da Portaria n.º 14/2015, de 23 de janeiro.

^(c) Ponto I.2.3.2 do Anexo da Diretiva n.º 5/2019, da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, e Alínea a) do Número 3 do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro.


^(d) Definido de acordo com as recomendações do requerente do projeto

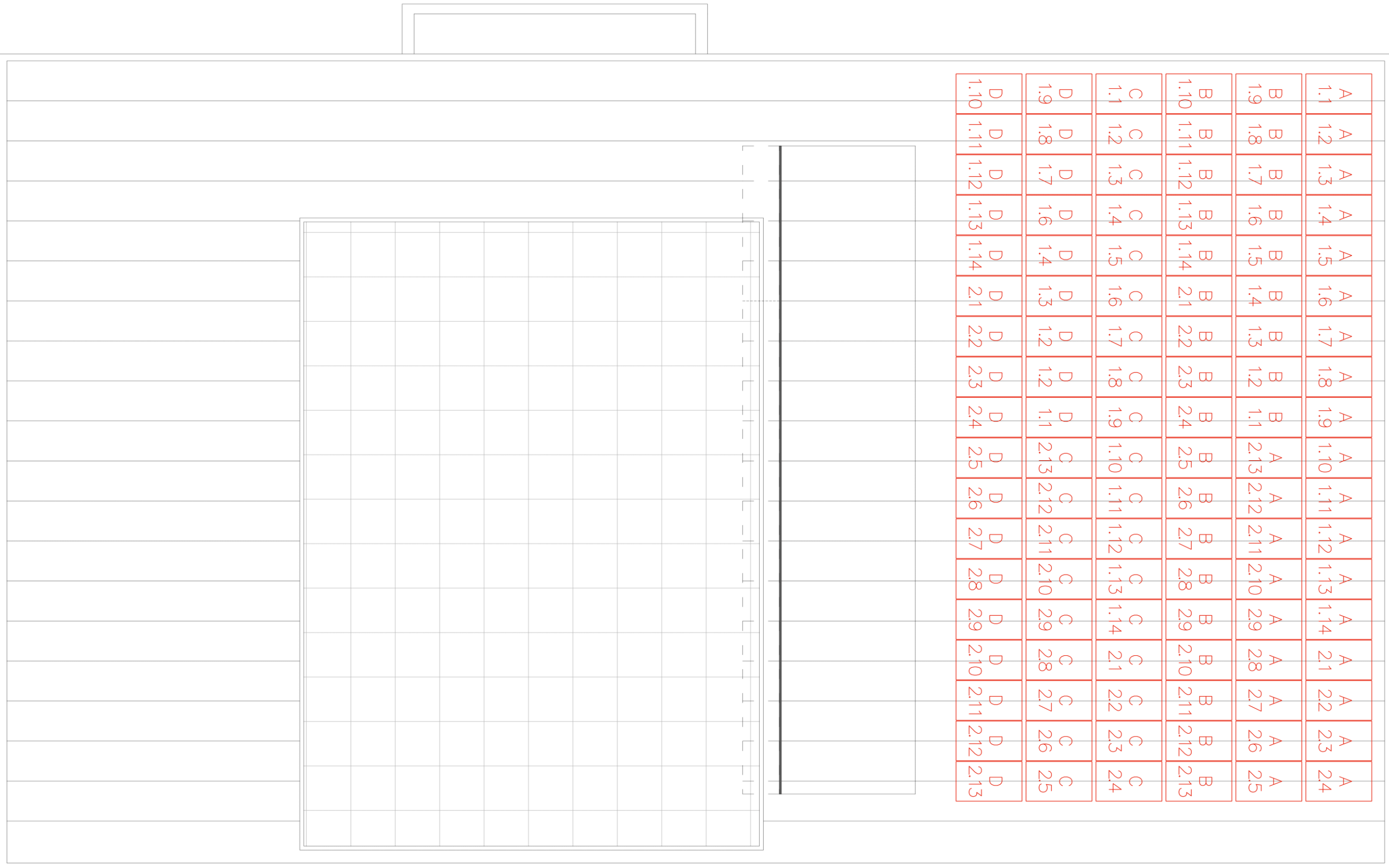


GRUPO/ INVERSOR	FILEIRA	N.º DE MÓDULOS	P _{inst} [kWp]	V _{oc} [V]	V _{mp} [V]	I _{sc} [A]	I _{mp} [A]
A	1	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
A	2	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
B	1	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
B	2	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
C	1	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
C	2	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
D	1	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
D	2	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56
E	1	12	3.84	489.60	401.76	10.05	9.56


GRUPO/ INVERSOR	FILEIRA	N.º DE MÓDULOS	P _{inst} [kWp]	V _{oc} [V]	V _{mp} [V]	I _{sc} [A]	I _{mp} [A]
TOTAL	-	108	34.56	-	-	-	-

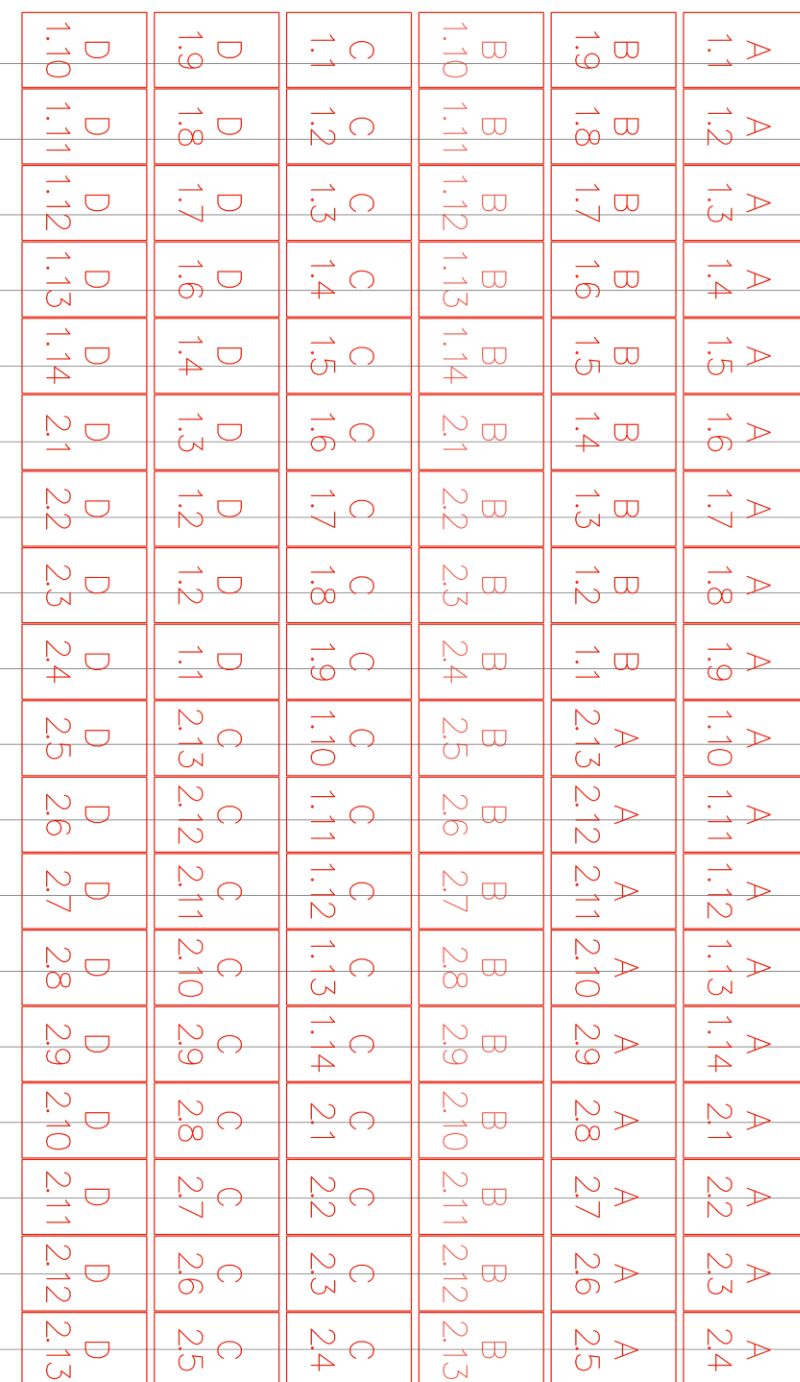
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	
Módulo Solar Fotovoltaico	MONOCRISTALINO JAM60S01-320/PR
Inversor	FRONIUS PRIMO 5kW

 ESNE edifício de serviços com balanço nulo de energia		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa			
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Integração de Produção Renovável ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA		
REDE+PRODUÇÃO ON-GRID PLANTA DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS NA COBERTURA			DATA: janeiro 2019	escala 1/100	folha 1 / 3



EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	
Módulo Solar Fotovoltaico	MONOCRISTALINO JAM60S01-320/PR
Inversor	INFINISOLAR Plus 5kW


 ESNE		edifício de serviços com balanço nulo de energia	AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa		
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento		TIPO DE PROJECTO: Integração de Produção Renováveis ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA		
REDE+PRODUÇÃO OFF-GRID PLANTA DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS NA COBERTURA			DATA: janeiro 2019	escala 1/100	folha 2 / 3



E 1.1	E 1.2	E 1.3
E 1.6	E 1.5	E 1.4
E 1.7	E 1.8	E 1.9
E 1.12	E 1.11	E 1.10
E 1.13	E 1.14	E 2.1
E 2.4	E 2.3	E 2.2

E _{2.5}	E _{2.6}	E _{2.7}	E _{2.8}	E _{2.9}	E _{2.10}	E _{2.11}	E _{2.12}	E _{2.13}	F _{1.1}	F _{1.2}	F _{1.3}	F _{1.4}	F _{1.5}	F _{1.6}	F _{1.7}	F _{1.8}	F _{1.9}
F _{2.15}	F _{2.12}	F _{2.11}	F _{2.10}	F _{2.9}	F _{2.8}	F _{2.7}	F _{2.6}	F _{2.5}	F _{2.4}	F _{2.3}	F _{2.2}	F _{2.1}	F _{1.14}	F _{1.13}	F _{1.12}	F _{1.11}	F _{1.10}
G _{1.1}	G _{1.2}	G _{1.3}	G _{1.4}	G _{1.5}	G _{1.6}	G _{1.7}	G _{1.8}	G _{1.9}	G _{1.10}	G _{1.11}	G _{1.12}	G _{1.13}	G _{1.14}	G _{1.15}	G _{1.16}	G _{1.17}	G _{1.18}
H _{1.1}	H _{1.2}	H _{1.3}	H _{1.4}	H _{1.5}	H _{1.6}	H _{1.7}	H _{1.8}	H _{1.9}	H _{1.10}	H _{1.11}	H _{1.12}	H _{1.13}	H _{1.14}	H _{1.15}	H _{1.16}	H _{1.17}	H _{1.18}

GRUPO/ INVERSOR	FILEIRA	N.º DE MÓDULOS	P _{inst} [kWp]	V _{oc} [V]	V _{mp} [V]	I _{sc} [A]	I _{mp} [A]
E	2	13	4.16	530.40	435.24	10.05	9.56
F	1	14	4.48	571.20	468.72	10.05	9.56
F	2	13	4.16	530.40	435.24	10.05	9.56
G	1	18	5.76	734.40	602.64	10.05	9.56
H	1	18	5.76	734.40	602.64	10.05	9.56
TOTAL	—	198	63.36	—	—	—	—

 <div> <div>ESNE</div> <div> edifício de serviços com balanço nulo de energia </div> </div>		AUTOR: Rafael Monge Palma, Ciências ULisboa	
REQUERENTE: Alent'Sol s.e.a.	LOCALIZAÇÃO: Lote 31 e 32 Rua B, Zona Atividades Económicas Vila Nova de São Bento	TIPO DE PROJECTO: Integração de Produção Renovável ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
PRODUÇÃO OFF-GRID PLANTA DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS NA COBERTURA		DATA: janeiro 2019	<div> <div>escala</div> <div>1/100</div> </div> <div> <div>folha</div> <div>3 / 3</div> </div>

C.4.2. Resultados da Integração de Produção Renovável

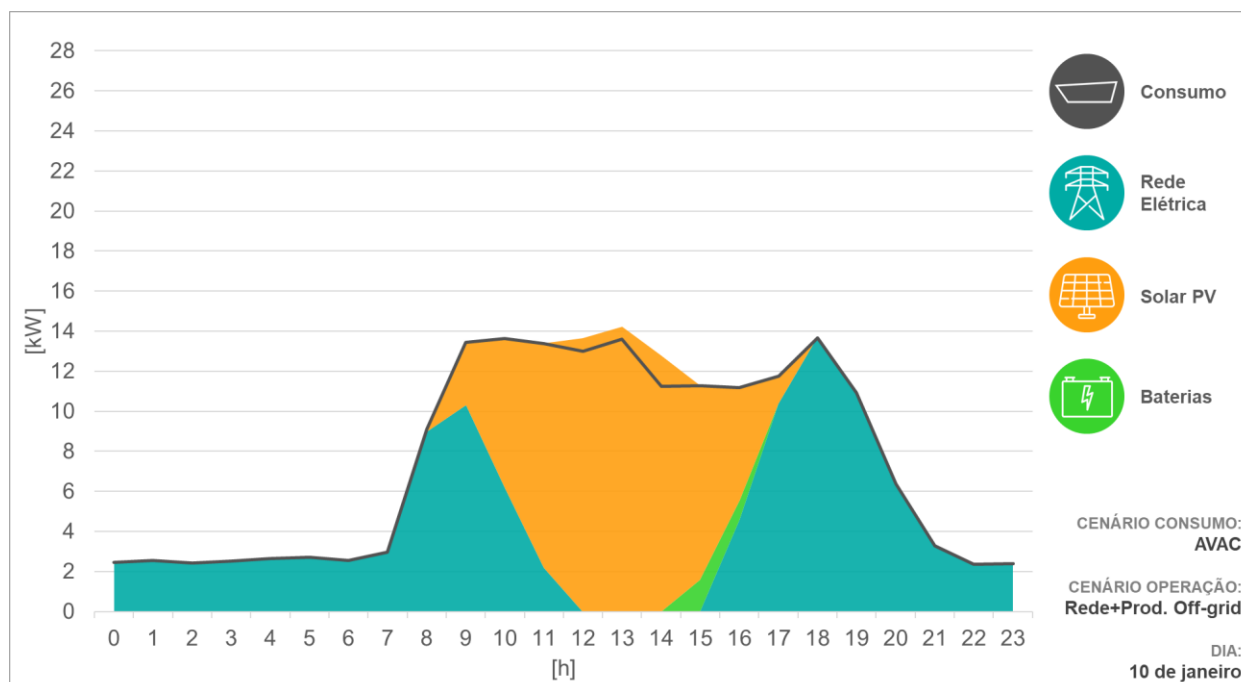


Figura C.8 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência.

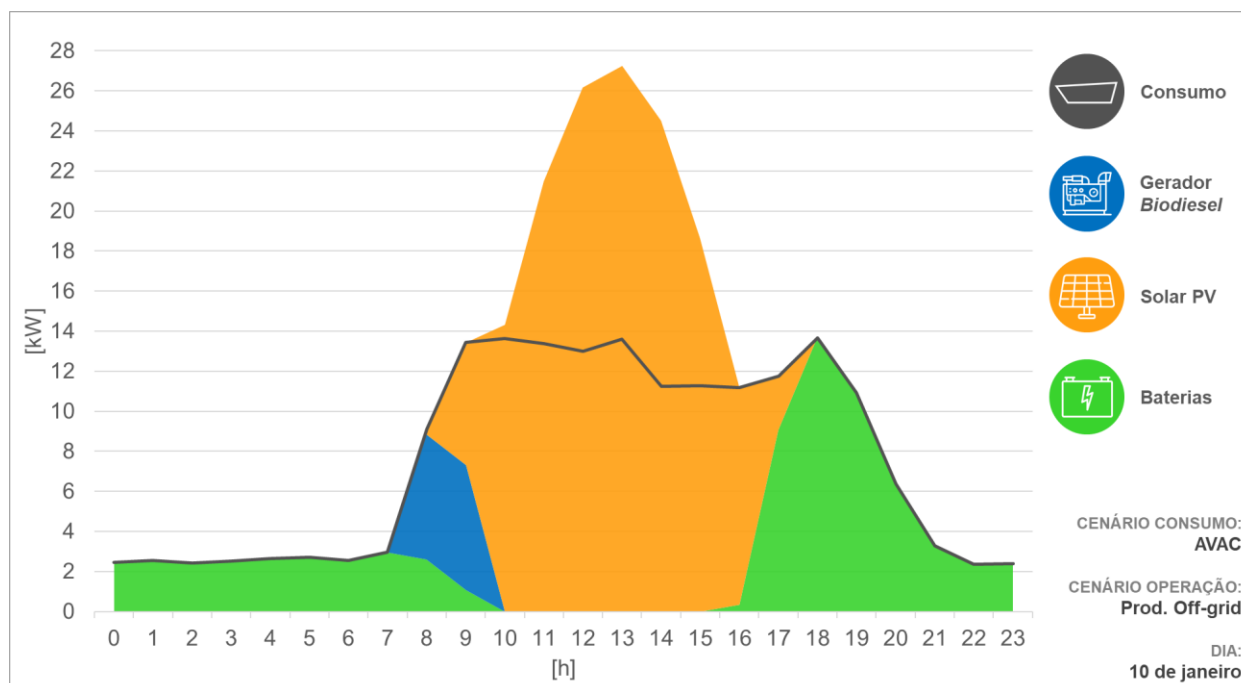


Figura C.9 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência

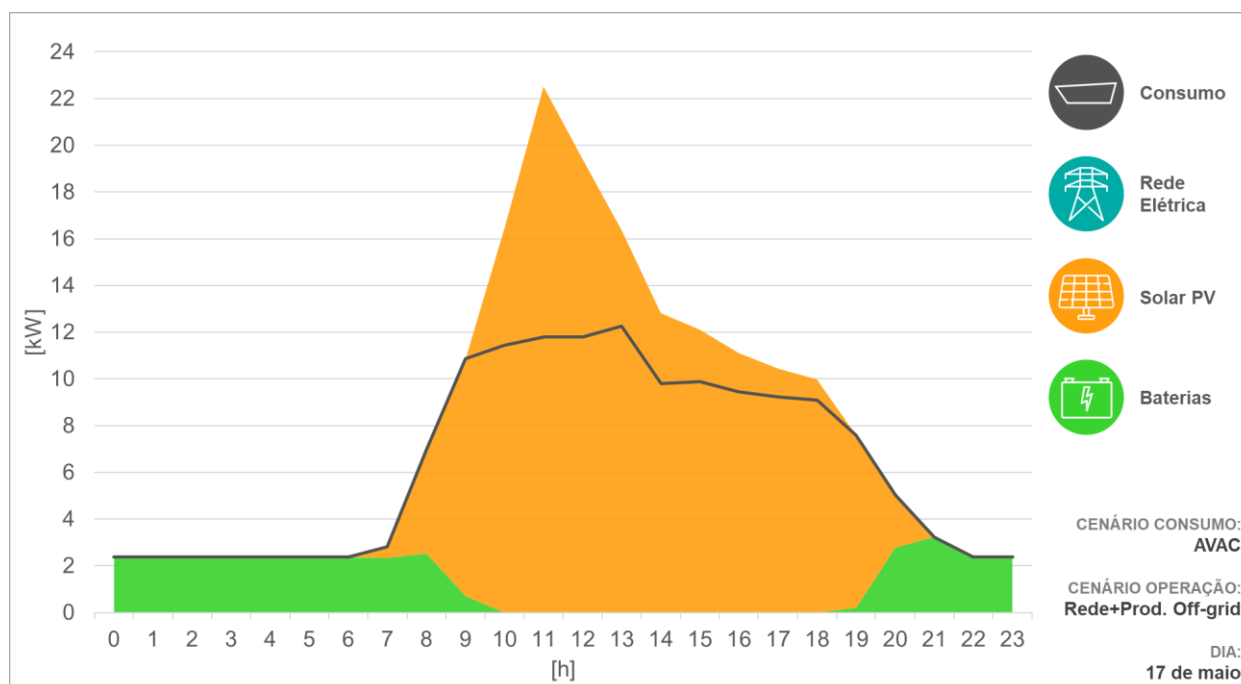


Figura C.10 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência

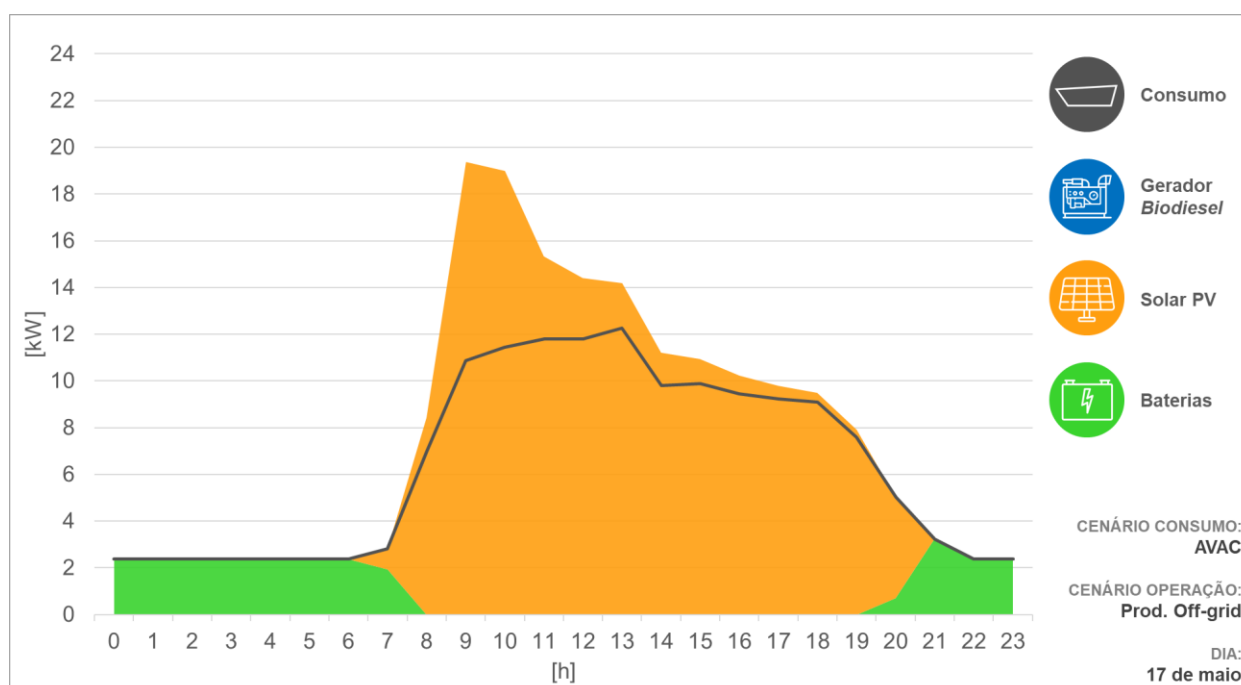


Figura C.11 – Diagrama de carga para o cenário de consumo AVAC e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência

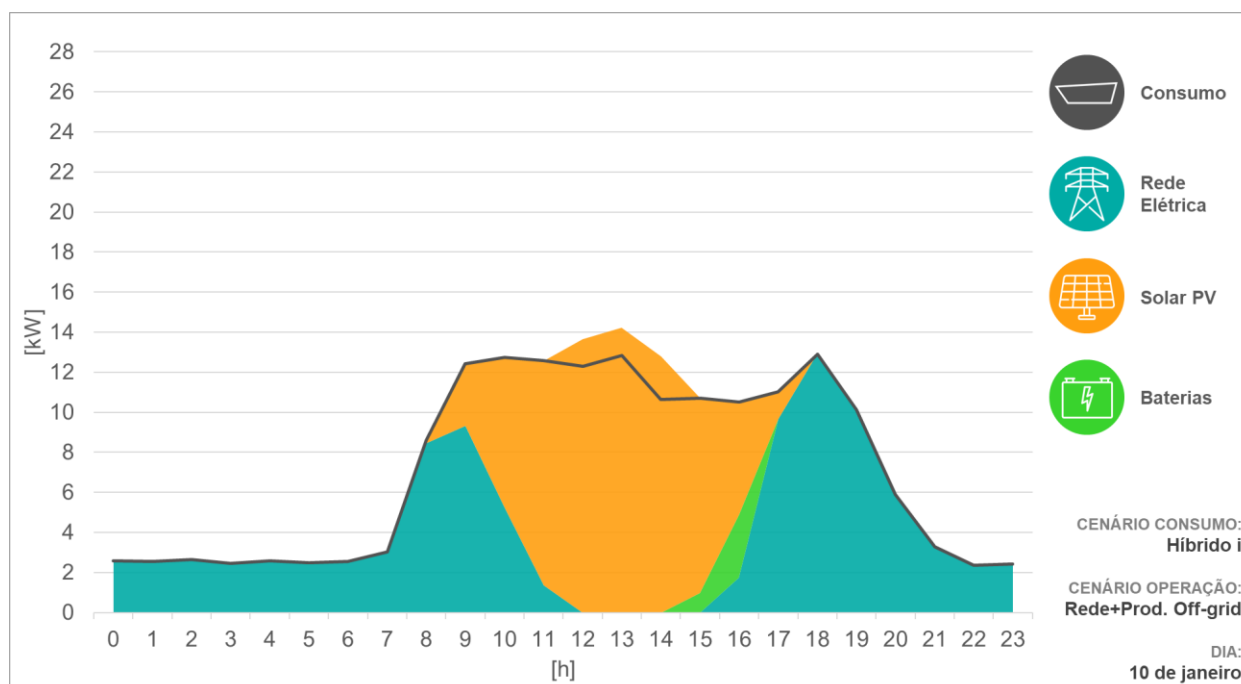


Figura C.12 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência

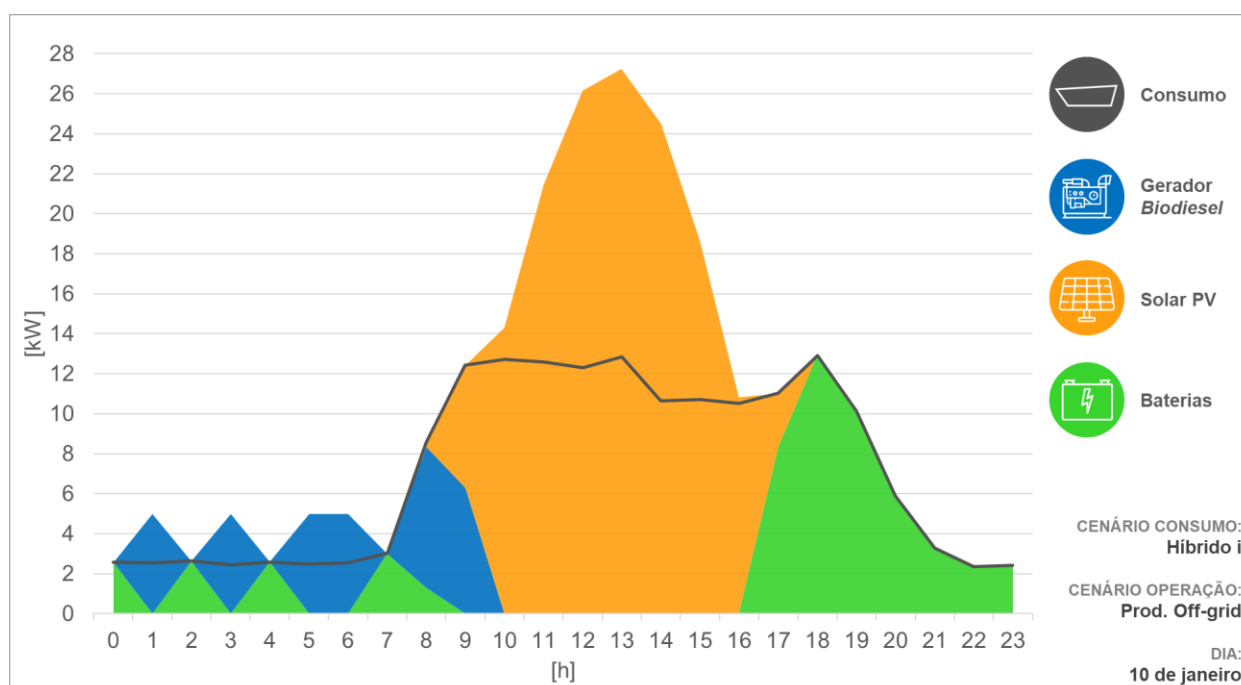


Figura C.13 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência

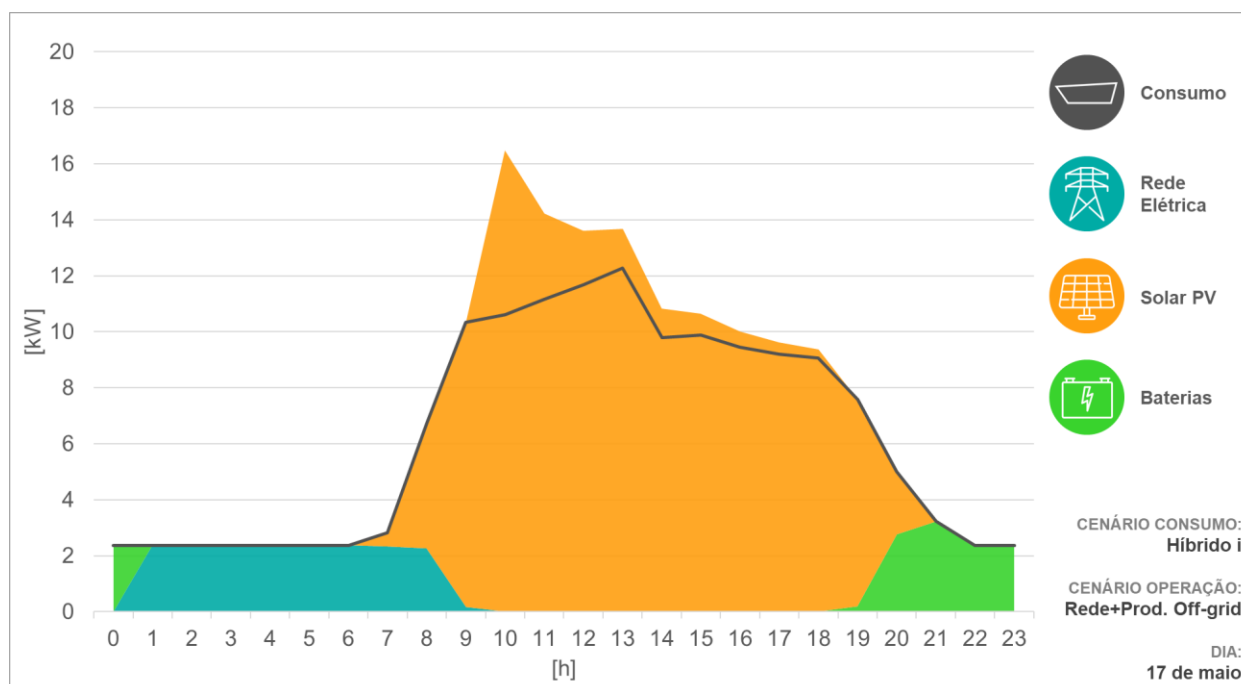


Figura C.14 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência

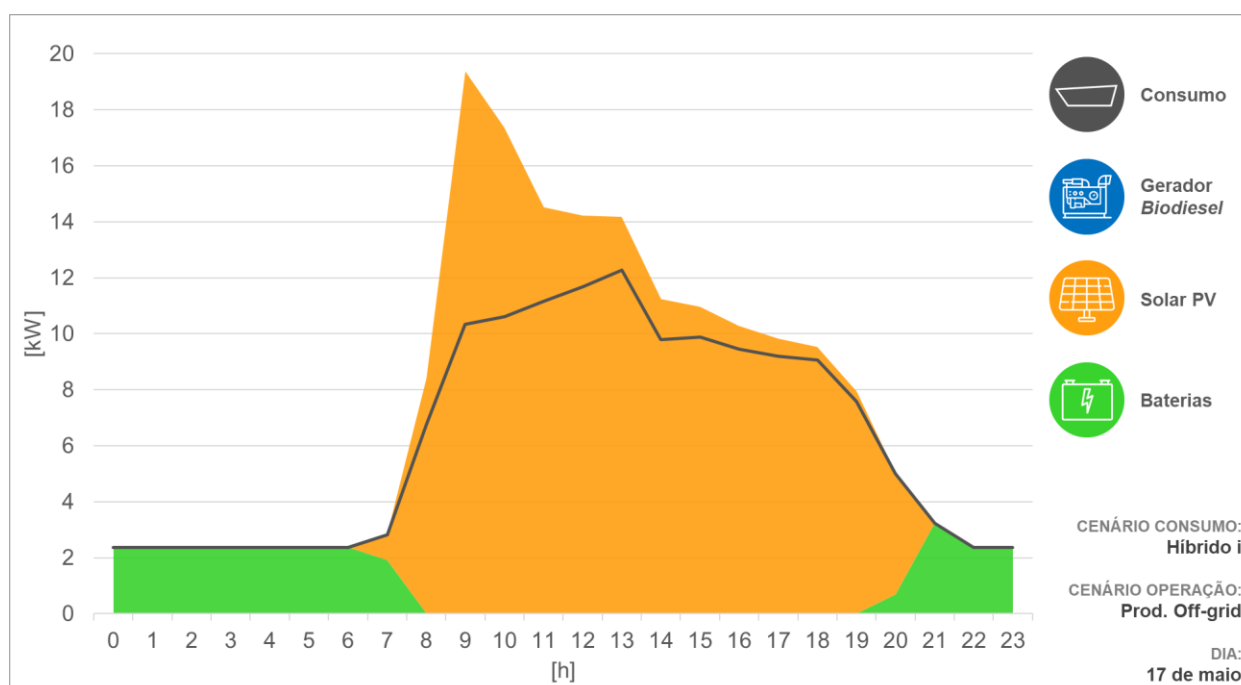


Figura C.15 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido i e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência

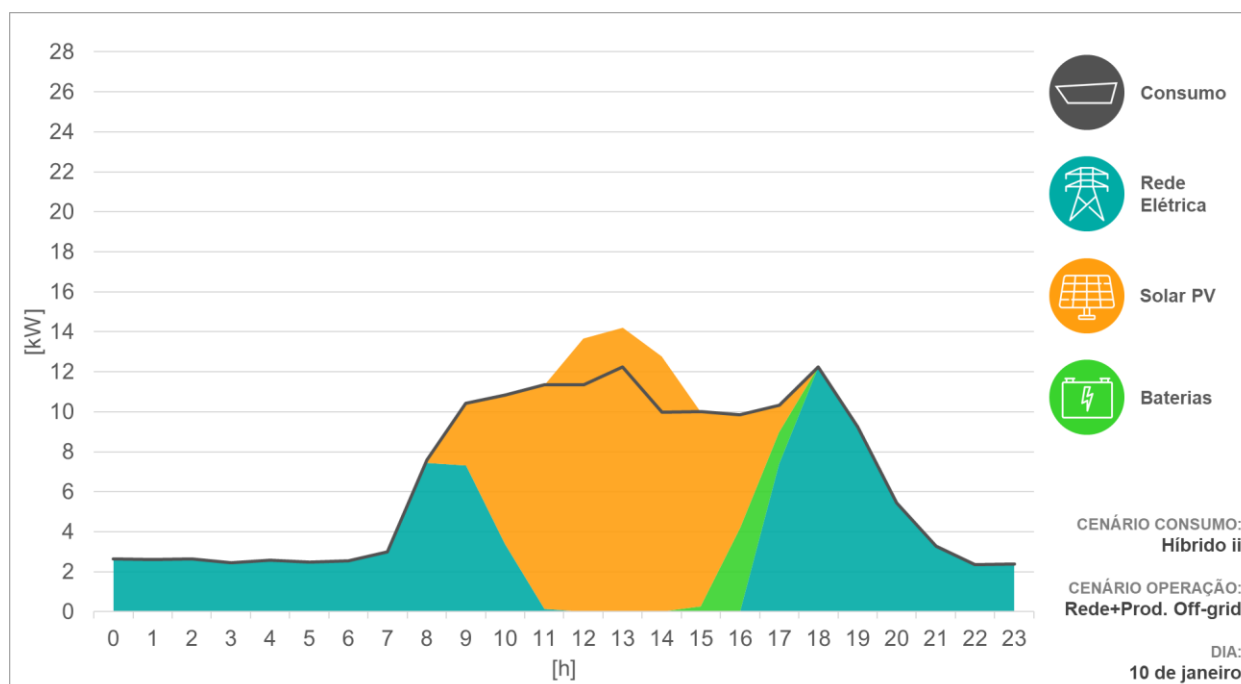


Figura C.16 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência

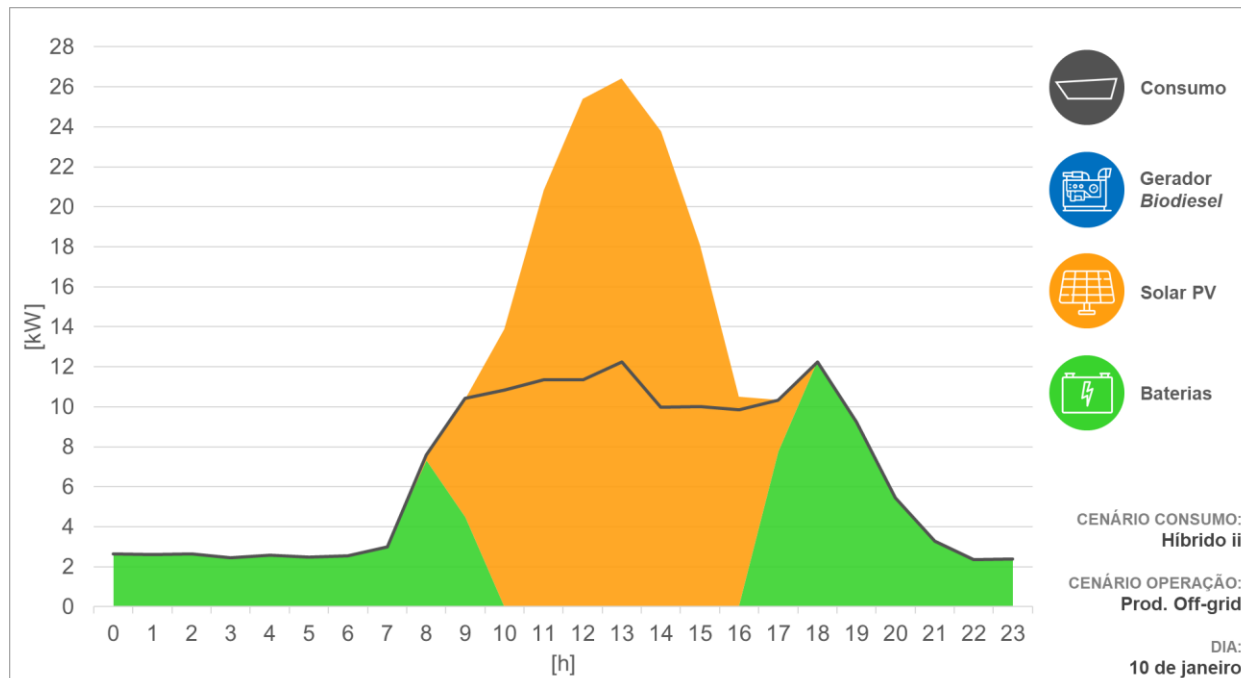


Figura C.17 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 10 de janeiro do ano de referência

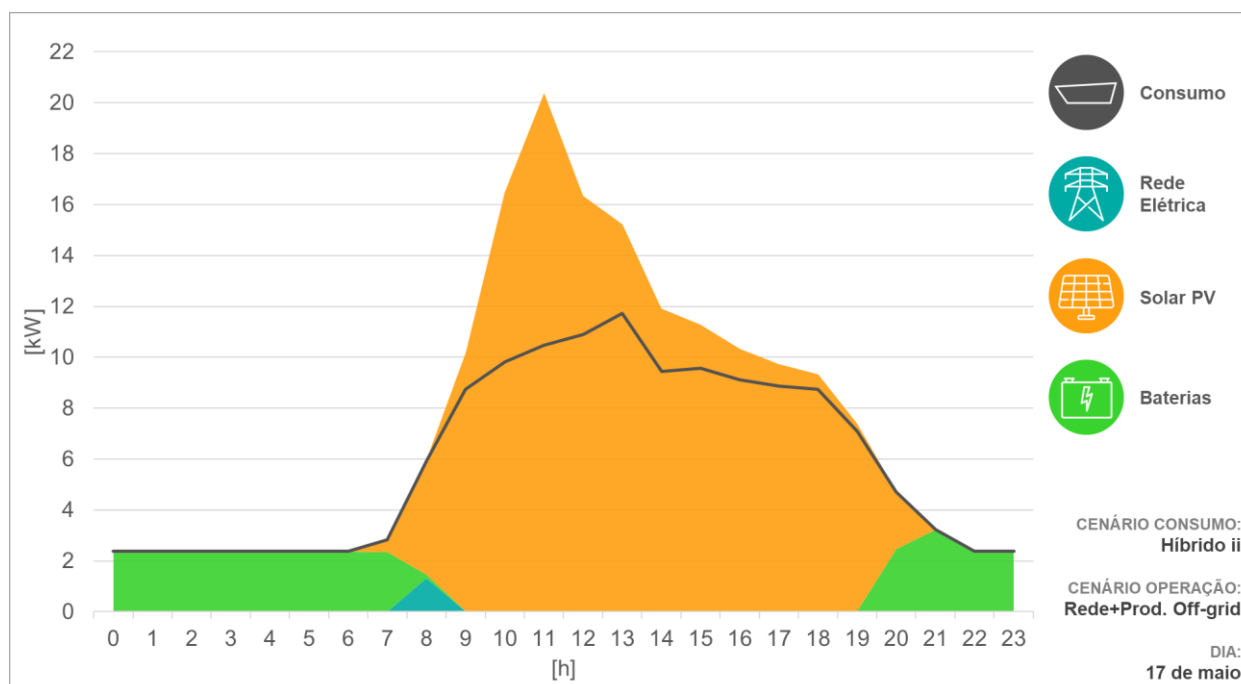


Figura C.18 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Rede+Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência

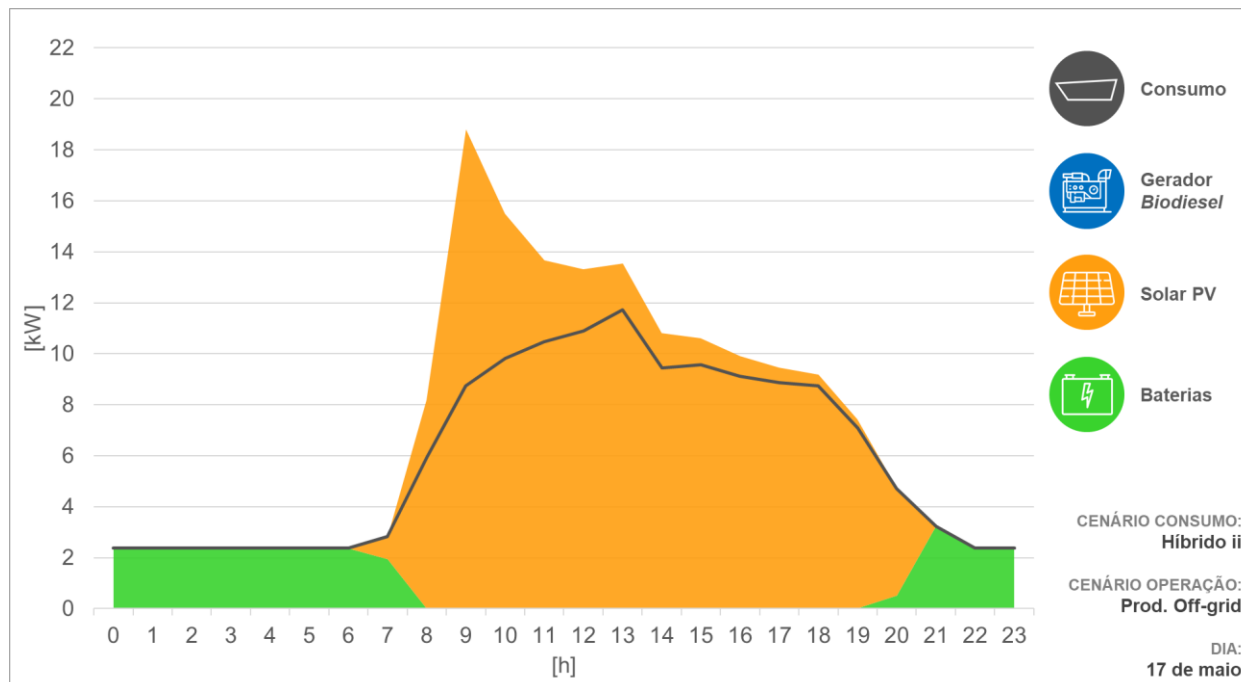


Figura C.19 – Diagrama de carga para o cenário de consumo Híbrido ii e para o cenário de operação Produção Off-grid, no dia 17 de maio do ano de referência